

**Az élőhely minőségének hatása az erdei madárközösségek
gazdagságára Magyarországon: Három eltérő felbontású
vizsgálat eredményeinek összehasonlító elemzése**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Mag Zsuzsa



**Eötvös Loránd Tudományegyetem Biológia Doktori Iskola
Vezető: Erdei Anna DSc., egyetemi tanár**

**Ökológia, Konzervációbiológia és Szisztematika Program
Vezető: Podani János DSc., egyetemi tanár**

Témavezető: Standovár Tibor PhD, egyetemi docens

ELTE Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék

2019

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	4
2. Irodalmi áttekintés	7
2.1. Erdei madarak helyzete Európában és Magyarországon	7
2.2. Erdei madárközösségek és környezetük közötti összefüggések	17
2.2.1. <i>Erdei madárközösségek és a fajajösszetétel összefüggései</i>	<i>18</i>
2.2.2. <i>Erdei madárközösségek és a faállomány-szerkezet ismert összefüggései</i>	<i>20</i>
2.2.3. <i>Erdei madárközösségek és a táji környezet között felismert néhány összefüggés</i>	<i>25</i>
2.3. Erdei madárközösségek és környezetük összefüggései Magyarországon	28
3. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése táji léptékben a CORINE felszínborítási adatbázis alapján.....	31
3.1. Célkitűzések	31
3.2. Anyag és módszer	32
3.2.1. <i>Mintaterületek.....</i>	<i>32</i>
3.2.2. <i>Madár adatok</i>	<i>32</i>
3.2.3. <i>Felszínborítási adatok</i>	<i>36</i>
3.2.4. <i>Adatelemzés</i>	<i>36</i>
3.3. Eredmények	37
3.3.1. <i>Táji környezet hatása az erdei madárközösségek gazdagságára</i>	<i>37</i>
3.3.2. <i>Erdei madarak fajszámának kapcsolata a madárközösség egyéb változóival</i>	<i>41</i>
3.4. Eredmények megvitatása	42
3.4.1. <i>CORINE az erdei madárközösség gazdagságának előrejelzőjeként</i>	<i>42</i>
3.4.2. <i>Erdei madarak egyes csoportjainak kapcsolata a táji környezet összetételével</i>	<i>44</i>
4. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése táji léptékben az Országos Erdőállomány Adattár adatai alapján	46
4.1. Célkitűzések	46
4.2. Anyag és módszer	47
4.2.1. <i>Mintaterületek.....</i>	<i>47</i>
4.2.2. <i>Madár adatok</i>	<i>47</i>
4.2.3. <i>Háttérváltozók</i>	<i>48</i>
4.2.4. <i>Adatelemzés</i>	<i>51</i>
4.3. Eredmények	54

4.3.1. Erdei madárközösség gazdagságának összefüggései a környezeti változókkal	54
4.3.2. Módszertani megjegyzések	59
4.4. Eredmények megvitatása	61
4.4.1. Táji környezet egyes jellemzőinek relatív fontossága az erdei madárközösségekre .	61
4.4.2. Madárközösséggel összefüggést mutató háttérváltozók hatásainak értékelése.....	61
5. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése erdőrészlet léptékben részletes állományadatok alapján az Őrségben	65
5.1. Célkitűzések.....	65
5.2. Anyag és módszer	66
5.2.1. Kutatási helyszín bemutatása és a mintaterületek kiválasztása	66
5.2.2. Állományadatok.....	68
5.2.3. Madár adatok	70
5.2.4. Adatelemzés	72
5.3. Eredmények	74
5.3.1. Madárközösség fajösszetételét meghatározó környezeti változók.....	74
5.3.2. Madárközösség faj- és egyedszámait meghatározó környezeti változók.....	76
5.4. Eredmények megvitatása	78
5.4.1. A környezet vizsgált jellemzőinek relatív fontossága az erdei madárközösség gazdagságára nézve.....	78
5.4.2. Az erdei madárközösség gazdagságával összefüggő erdőszerkezeti változók.....	80
5.4.3. Következtetések a természetvédelmi és erdőgazdálkodó szakemberek számára	83
6. Eredmények megvitatása.....	84
6.1. Erdei madárközösség gazdagságával összefüggő erdőjellemzők Magyarországon	84
6.2. Erdeinkről rendelkezésre álló adatbázisok használhatósága az erdei madárközösségek gazdagságának előrejelzésében.....	89
7. Kitekintés – megfontolások a gyakorlati szakemberek számára	90
8. Köszönetnyilvánítás	94
Összefoglalás	96
Summary	98
Irodalomjegyzék.....	100
Mellékletek	115

1. Bevezetés és célkitűzések

Az erdei madarak sokrétű kapcsolatot mutatnak környezetük számos jellemzőjével és folyamatával. Populációikat megtizedelheti egy-egy kemény tél (Greenwood & Baillie 1991), a hosszútávú vonuló fajok állományait érzékenyen érinthetik a trópusi telelőterületeiken bekövetkező változások (Hewson & Noble 2009) avagy az éghajlatváltozás (Both et al. 2009), hatással lehet populációikra az általunk megtizedelt ragadozók miatt lecsökkent predációs nyomás (Tomiało *et al.* 1980), vagy élőhelyeik szétszabdalódása (Fahrig 2003). Mindezen jelenségek ismeretében is állítható azonban, hogy az erdei madarak közösségei igen érzékeny összefüggéseket mutatnak élőhelyeik minőségével, azok változásaival (Fuller 1995). Mivel az erdei táplálékláncban magasan helyezkednek el, és elég könnyen megfigyelhetők, egyben jó indikátorai élőhelyeik állapotának (Mikusiński et al. 2001; Roberge & Anglemont 2006; Gregory & Van Strien 2010). E jellemzőik miatt elmondható, hogy egy nagy faj- és egyedszámú, érzékenyebb, erdei specialista madárfajokat is tartalmazó erdei madárközösség egészséges erdőt jelez, és fordítva: bizonyos madárfajok megfogyatkozása az erdők ökológiai állapotában bekövetkező negatív folyamatokra hívhatja fel a figyelmet.

Az erdei madarak és élőhelyeik jellemzői közötti kapcsolatokat nagyon sok mérsékelt övi kutatás vizsgálta már, ezért külön-külön az erdei környezet számos tulajdonságáról ismert, hogy összefüggést mutathat az erdei madárközösségek egyes változóival. Ismert azonban néhány jelenség, amelyek miatt e kapcsolatok nem feltétlenül tekinthetők általános érvényűnek még Európa mérsékelt övi erdein belül sem. Leginkább látványos ilyen különbség talán maga az éghajlat, amely nyugatról keletre haladva egyre kontinentálisabbá válik, ami több módon (telek keménysége, éghajlat humiditása) is hathat az erdőkre, és a benne élő madarakra egyaránt. Európa mérsékelt övi lombhullató erdeinek zónáján belül maguk az erdei madárközösségek is mutatnak azonban egy egyértelmű trendet, ez az úgynevezett kelet-nyugat gradiens (Tomiało *et al.* 2000). Eszerint keletről nyugat fele haladva a kontinensen folyamatosan csökken az erdei madárközösségek fajszáma, olyannyira, hogy Nyugat-Európában körülbelül harmadával kevesebb madárfajt találunk egy átlagos erdőben, mint kelet-európai megfelelőjében. A jelenség valószínűleg több okra vezethető vissza, ezek közül talán az egyik legfontosabb, hogy a nyugat-európai országokban jellemzően jóval régebb óta tart a táj intenzív, ember általi használata és átalakítása. Egyrészt – bár számottevőek az országok közötti egyéni eltérések is – keletről nyugatra haladva csökken az országokban az erdők aránya (40%-os értékektől haladva nyugat fele akár 10% körüli értékekig, Spiecker

2003), így az erdei élőhelyek egyre inkább fragmentálódnak. Emellett az erdők, a hosszabb ideje tartó intenzív erdőgazdálkodás miatt, még jobban különböznek az eredeti, elsődleges erdőtől, mint kelet-európai társaik, azoknak még inkább leegyszerűsített verziói csupán (Wesołowski 2007). E gradiens mentén megfigyelhető jelenségek mellett arra is akad példa, hogy egy erdei madárfaj állománya egyes országokban nő, míg másokban csökken, és ez összefüggésbe hozható konkrét erdőgazdálkodási folyamatokkal (ilyen fajok például a zöld küllő – *Picus viridis* és a meggyvágó – *Coccothraustes coccothraustes*, Lehtikoinen & Virkkala 2018). Mindezen jelenségek kiemelik a helyi vizsgálatok fontosságát, mivel egy-egy országban az erdei madárközösségek és az erdei környezet minősége között feltárható összefüggések valamelyest eltérhetnek Európa egyes régióiban. Ennek ellenére Magyarországon idáig az erdei madárközösségek és az erdők jellemzői közötti összefüggéseket feltáró komplex vizsgálatból nem túl sok született.

Az erdei madarakat potenciálisan befolyásoló számos tényező közül az erdők egyszerűen mérhető jellemzői csupán azok kis részalmazát képezik. Ennek ellenére doktori dolgozatomban mégis arra vállalkozom, hogy, részben a nemzetközi és hazai szakirodalom eredményeinek áttekintésével, részben pedig saját, doktori éveim alatt végzett kutatásaimon keresztül, megpróbáljam összegyűjteni az erdei madárközösség és az erdők minősége között Magyarországon idáig feltárt főbb összefüggéseket. Mivel az erdei madarak jellemzően érzékeny összefüggéseket mutatnak élőhelyeik állapotával, azt remélem, ezen összefüggések feltárása közelebb visz az erdeinkben zajló folyamatok jobb megértéséhez is. A hazai helyzet feltárása azért is hasznos lehet, mert az ilyesféle erdőjellemzők szinte mindegyike közvetlenül befolyásolható az erdőgazdálkodáson keresztül – ellentétben például az e bevezető elején felsorolt számos egyéb hatással.

Dolgozatomban végig az erdei madárközösség gazdagságának a környezettel való összefüggéseit vizsgálom, ezért e helyen szeretném röviden leírni, hogy mit értek e kifejezés alatt. Annál gazdagabbnak tartom egy erdő erdei madárközösségét, minél nagyobb benne a madarak faj- és egyedszáma, és emellett az erdőkre jellemző funkcionális madárcsoportok faj- és egyedszámai is, különös tekintettel az érzékenyebb, erdei specialista madárfajokat tömörítő csoportokra. Vagyis az általam használt fogalom kicsit komplexebb az e célra sok esetben használt fajszámnál.

A fent vázolt cél elérése érdekében doktori dolgozatomat irodalmi áttekintéssel kezdem. A 2.1. fejezetben tárgyalom az erdei madarak helyzetét Európa különböző régióiban és Magyarországon, röviden kitérve a tapasztalt trendek lehetséges mögöttes okaira is, majd a 2.2. fejezetben sorra veszem az európai kutatások alapján az erdei madárközösségekkel

leginkább összefüggést mutató állomány, és táji léptékű erdőjellemzőket, végül külön kitérek a témában fellelhető – sajnos nem túl sok – hazai kutatás eredményeire.

Ezután rátérek saját kutatásaim bemutatására. A 3. fejezetben ismertetett munkámban megvizsgálom, a Mindennapi Madaraink Monitoringja adatbázis országos adatait felhasználva, hogy mennyire alkalmasak a CORINE Felszínborítási Adatbázisból származtatott, a táj összetételére vonatkozó durva háttérváltozók az erdei madárközösség gazdagságának előrejelzésére táji léptékben. Ezután az 4. fejezetben – ismét a Mindennapi Madaraink Monitoringja program madár-adatait felhasználva, és ugyanúgy táji léptékben – azt vizsgálom meg, hogy a hazánkban az erdőkről létező legrészletesebb adatbázisból, az Országos Erdőállomány Adattárból származtatott részletesebb (zömmel az erdők fafajösszetételére és szerkezetére vonatkozó) erdőjellemzők segítségével már nagyobb sikerrel lehet-e előre jelezni az erdei madárközösség gazdagságát, különös tekintettel egyes érzékenyebb madárfajokat is tartalmazó csoportokra. Végül az 5. fejezetben egy finomabb, erdőrészt léptékű esettanulmányt mutatok be, amelynek során az Őrs-Erdő Projekt keretében vizsgáltuk az őrségi erdőkben az erdei madárközösség gazdagsága és a faállomány egyes jellemzői (szerkezete, fafajösszetétele, táji környezete és tájtörténete) között feltárható kapcsolatokat.

Majd dolgozatomban diszkussziójában az ismertetett irodalmi adatok és a bemutatott saját kutatási eredmények fényében megpróbálom megválaszolni az alábbi kérdéseket:

1. A fellelhető irodalmi adatok, illetve saját vizsgálataim alapján melyek azok az erdőállapot-jellemzők Magyarországon, amelyek összefüggést mutatnak az erdei madárközösségek gazdagságával?
2. A hazai erdőkről szabadon hozzáférhető durvább (CORINE felszínborítási adatbázis), és legrészletesebb (Országos Erdőállomány Adattár) adatbázisok tartalmaznak-e információt az erdőknek ezekről az erdei madárközösségekkel leginkább együtt viselkedő jellemzőiről, ezen adatbázisok mennyire alkalmasak az erdei madárközösségek gazdagságának előrejelzésére?
3. Melyek azok az erdőállapot-tulajdonságok, amelyekről leginkább fontos lenne még információval rendelkezünk a madárközösségek gazdagságának, így az erdők jó ökológiai állapotának megőrzése érdekében itt, Magyarországon?

E kérdések szisztematikus megvitatása során röviden kitérek a tapasztalt összefüggések és az erdeinkben elterjedt erdőgazdálkodási módszerek lehetséges kapcsolataira is, majd megfogalmazok néhány következtetést és javaslatot az erdőgazdálkodó, illetve a természetvédelmi szakemberek számára.

Nómenklátúra: Növénynevek esetében az Új Magyar Fűvészkönyv (Király 2009), madárnevek esetében a Birdlife International (HBW and BirdLife International 2017) nevezéktanát követtem.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Erdei madarak helyzete Európában és Magyarországon

Mivel a madarak számos tulajdonságuk (jó megfigyelhetőség, gyors reagálás környezetük megváltozására, táplálékhálózatban elfoglalt viszonylag magas pozíció) miatt elég jó indikátorai lehetnek élőhelyeik általános állapotának (Bibby 1999), a kutatók már régóta próbálkoznak az ennek nyomon követésére leginkább alkalmas fajok megtalálásával. Sokáig inkább az esernyőfaj-konceptió állt az érdeklődés középpontjában (lásd például (Mikusiński et al. 2001; Roberge & Anglestam 2006), egyre inkább úgy tűnik azonban, hogy a sokfajos indikátorok alkalmasabb eszköznek bizonyulnak e feladatra (Lambeck 1997; Bani et al. 2002; Roberge & Anglestam 2004). Részben ennek a felismerésnek a hatására, Európa országai az elmúlt években-évtizedekben sorra indították a közepesen gyakori-gyakori madárfajok állományváltozásainak hosszú távú nyomon követését célul kitűző programokat. A leghosszabb ilyen adatsorok Európában az 1960-as évektől állnak rendelkezésre, de az országok többségében csupán jóval később, legtöbb esetben valamikor a 1990-es, illetve 2000-es években kezdődött el a gyakori madarak állományainak évenkénti monitorozása. E programok ugyan módszertanukat és egyéb részleteiket tekintve eltérnek az egyes országokban (jellemzően az adott ország területét valamiféle random mintavétellel próbálják megmintázni, és önkéntes felmérők által kivitelezett pontszámlálást vagy line-transzekt módszert alkalmaznak a költési időszakban 1-7 alkalommal), azonban a gyakori madarak állományváltozásainak nyomon követésére alkalmasak. Az adatsorok összesítése és feldolgozása a Birdlife International és az Európai Madárszámlálási Tanács (European Bird Census Council - EBCC) szakértői és tagszervezetei által létrehozott Pán-európai Gyakori

Madár Monitoring Rendszer (Pan-European Common Bird Monitoring Scheme - PECBMS) keretein belül zajlik.

Az európai erdei madarak populációinak változásait elemző legátfogóbb publikáció mindezeridáig Gregory és munkatársai cikke (2007), amelyben Európa 18 országának gyakori erdei madarakra vonatkozó adatsorait összegezték az 1980-2003 közötti időszakban. Az erdei madarak európai, illetve kelet-közép-európai helyzetét nagyrészt e munka alapján mutatom be, azonban a cikkben szereplő trend-értékeket sok esetben kiegészítem az EBCC honlapján (EBCC 2018) szereplő trend-értékekkel is (lásd 1. táblázat második trend-oszlopa). Ez utóbbiakat jóval hosszabb (1980-2015 közötti) adatsorok és jóval több (28) európai ország adatai alapján számították (azonban annak módja megegyezik Gregory és munkatársai (2007)-es cikkével). A vizsgált fajok populációinak trendjeit, vagyis azt, hogy arányaiban hogyan változott egy-egy faj populációja a 100%-nak tekintett kiindulási évhez képest, először az egyes országokra számolták ki, majd az egyes országok adatait oly módon összegezték Európa régióira (Észak-, Dél-, Nyugat-, és Kelet-Közép-Európára), majd egész Európára, hogy minden ország trend-értékeit az adott ország részesedési arányával súlyozták a vizsgált madárfaj populációjából. Ezután az erdei élőhelyek állapotának nyomon követéséhez kiválasztottak 33, erdei specialistának nevezett madárfajt (azok a madárfajok, amelyek populációinak legalább 75%-a erdőkben él a vizsgált országokban, Tucker and Evans 1997), amelyek nem túl ritkák (mivel az ilyen fajok populációinak nyomon követésére az ilyen jellegű adatgyűjtési módok kevésbé alkalmasak), életmódjukból adódóan monitorozhatók a szóban forgó programok módszereivel (például nem éjszakai életmódúak), és viszonylag nagy elterjedési területtel rendelkeznek. E 33 madárfaj (lásd 1. táblázat első trend-oszlopa) trendjeinek összegzésével képezték egy erdei élőhely-indikátort oly módon, hogy abban minden egyes fajt egyenlő súllyal vettek figyelembe. Mivel a szerzők az erdei élőhely-indikátor számolásához értelemszerűen a vizsgált országok adatai alapján igyekeztek kiválasztani az erdei specialista fajokat, az EBCC honlapon közölt erdei élőhely-indikátort kicsit más, és nem 33, hanem 34 madárfaj (1. táblázat első és második trend-oszlopai) adatai alapján számolták. Ez az indikátor egyértelműen az egyik leghasznosabb mérőszám, amivel jelenleg rendelkezünk erdeink állapotának nyomon követésére, ezért a következőkben – szintén Gregory et al. (2007), illetve az ugyanezen szerzők által jegyzett, EBCC honlapon szereplő hosszabb adatsorok alapján - röviden áttekintem változásait először Európában majd Kelet-Közép-Európában, végül Magyarországon, röviden kitérve a tapasztalt trendek lehetséges okaira is. Az erdei élőhely-indikátor alapjául szolgáló fajokat és azok populációinak trendjeit a szóban forgó régiókban az 1. táblázat tartalmazza. E trendeket az

ilyen jellegű adatsorok kezelésére kifejlesztett, egyre szélesebb körben alkalmazott TRIM nevű programcsomaggal számítják (Trends and Indices for Monitoring data, Pannekoek & van Strien 2005), amelynek nagy előnye, hogy jól képes kezelni az adathiányokat is, így képes az eltérő időpontokban induló nemzeti programok adatait összegezve azokból a lehető legtöbb információt kinyerni.

1. táblázat. Az erdei élőhely-indikátorok számításához használt erdei specialista madárfajok listája, és éves trendjei Európában 1980-2003 (Gregory et al. 2007), illetve 1980-2015 között (EBCC 2018), Kelet-Közép-Európában (EBCC 2018) és Magyarországon (Szép et al. 2012). A táblázatban az összehasonlíthatóság kedvéért évenkénti növekedési rátákat adtam meg. A trend érték mellett zárójelben jelzem azt is, hogy statisztikailag milyen jellegű a változás (-- = erősen csökken; - = enyhén csökken; 0 = stabil; + = enyhén nő; ++ = erősen nő; ? = bizonytalan). Az egyes madárfajok esetében, azok gyakoriságának függvényében, a trend-értékek konfidencia-intervallumai jelentősen eltérnek, ezért egy-egy trend érték különböző fajok esetében statisztikailag más megítélés alá eshet. Mivel az egyes régiók esetében az EBCC honlapon csak az élőhely-indikátorok számításához használt madárfajok listája, és trendjeik jellege található meg, így én is csak ezt az információt közlöm a kelet-közép-európai trendek esetében. KK-Európa= Kelet-Közép-Európa¹.

Latin név	Magyar név	Európa 1980-2003	Európa 1980-2015	KK-Európa 1982-2015	Magyarország 1991-2013
<i>Accipiter nisus</i>	Karvaly		0,994 (0)	(-)	1,022 (?)
<i>Anthus trivialis</i>	Erdei pityer	0,968 (-)	0,977 (-)	(-)	0,983 (0)
<i>Bombycilla garrulus</i>	Csonttollú		1,078 (++)		
<i>Bonasia bonasia</i>	Császármadár	0,988 (0)	0,991 (-)	(-)	
<i>Carduelis flammea</i>	Zsezse	1,036 (?)			
<i>Carduelis spinus</i>	Csíz	0,998 (0)	0,992 (-)	(-)	
<i>Certhia brachydactyla</i>	Rövidkarmú fakusz	0,986 (0)	1,016 (+)	(0)	0,960 (?)
<i>Certhia familiaris</i>	Hegyi fakusz	1,001 (0)	0,997 (0)	(0)	
<i>Coccothraustes coccothr.</i>	Meggyvágó	1,025 (+)	1,008 (+)	(-)	1,079 (++)
<i>Columba oenas</i>	Kék galamb		1,010 (+)	(+)	1,073 (+)
<i>Cyanistes caeruleus</i>	Kék cinege	1,007 (+)			1,045 (+)
<i>Cyanopica cyanus</i>	Kék szarka		1,024 (+)		
<i>Dendrocopos major</i>	Nagy fakopáncs				1,016 (+)
<i>Dryobates minor</i>	Kis fakopáncs	0,921 (-)	0,977 (0)	(0)	0,979 (?)
<i>Dryocopus martius</i>	Fekete harkály	1,017 (+)	1,011 (+)	(+)	1,032 (?)
<i>Emberiza rustica</i>	Erdei sármány		0,944 (-)		
<i>Erithacus rubeluca</i>	Vörösbegy				1,028 (+)
<i>Ficedula albicollis</i>	Örvös légykapó	1,043 (+)	1,020 (+)	(+)	1,092 (++)
<i>Ficedula hypoleuca</i>	Kormos légykapó	0,988 (-)	0,986 (-)	(-)	

¹ A táblázat a következő oldalon folytatódik

Latin név	Magyar név	Európa 1980-2003	Európa 1980-2015	KK-Európa 1982-2015	Magyarország 1991-2013
<i>Fringilla coelebs</i>	Erdei pinty				1,029 (+)
<i>Fringilla montifringilla</i>	Fenyőpinty	0,967 (-)			
<i>Garrulus glandarius</i>	Szajkó	0,999 (0)	1,007 (+)	(+)	1,012 (0)
<i>Hippolais icterina</i>	Kerti geze	0,978 (-)			
<i>Jynx torquilla</i>	Nyaktekerics	0,956 (-)			
<i>Leiopicus medius</i>	Közép fakopáncs		1,014 (0)		0,999 (0)
<i>Lophophanes cristatus</i>	Búbos cinege		0,990 (-)	(0)	
<i>Lululla arborea</i>	Erdei pacsirta	1,038 (+)			0,922 (-)
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Fülemüle	0,960 (-)			
<i>Muscicapa striata</i>	Szürke légykapó	0,968 (-)			0,910 (--)
<i>Nucifraga caryocatactes</i>	Fenyőszajkó		0,995 (0)	(0)	
<i>Oriolus oriolus</i>	Sárgarigó	1,014 (+)			
<i>Periparus ater</i>	Fenyvescinege	1,002 (0)	0,996 (-)	(0)	1,101 (?)
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	Kerti rozsdafarkú	0,996 (0)	1,010 (+)	(+)	
<i>Phylloscopus bonelli</i>	Bonelli-füzike		0,996 (0)		
<i>Phylloscopus collybita</i>	Csilpcsalpfüzike	1,033 (+)	1,015 (+)	(0)	1,010 (+)
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	Sisegő füzike	0,973 (-)	0,981 (-)	(-)	1,007 (0)
<i>Phylloscopus trochilus</i>	Fitiszfüzike				0,991 (0)
<i>Picus canus</i>	Hamvas küllő	1,015 (?)	1,038 (+)		
<i>Picus viridis</i>	Zöld küllő	1,019 (+)			1,057 (+)
<i>Poecile montanus</i>	Kormosfejű cinege	0,960 (-)	0,966 (-)	(0)	
<i>Poecile palustris</i>	Barátcinege	0,970 (-)	0,992 (-)	(0)	1,040 (+)
<i>Prunella modularis</i>	Erdei szürkebegy	0,984 (-)			
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	Süvöltő	0,986 (-)	0,987 (-)	(-)	
<i>Regulus ignicapilla</i>	Tüzesfejű királyka		0,998 (0)	(0)	
<i>Regulus regulus</i>	Sárgafejű királyka	0,995 (-)	0,984 (-)	(-)	
<i>Serinus citrinella</i>	Citromcsíz		0,993 (-)		
<i>Sitta europaea</i>	Csuszka	1,010 (+)	1,016 (+)	(+)	1,026 (+)
<i>Sylvia atricapilla</i>	Barátposzáta				1,043 (+)
<i>Sylvia borin</i>	Kerti poszáta	0,993 (-)			
<i>Tringa ochropus</i>	Erdei cankó		1,006 (0)	(0)	
<i>Troglodytes troglodytes</i>	Ökörszem				1,014 (?)
<i>Turdus philomelos</i>	Énekes rigó				1,059 (+)
<i>Turdus viscivorus</i>	Léprigó		0,996 (0)	(0)	1,057 (?)

Az erdei specialista madárfajok trendjeiből képzett erdei élőhely-indikátor Európában 5%-os csökkenést mutatott 1980-2015 között (1. táblázat második trend-oszlopának fajai alapján számolt). Ezt összevetve a mezőgazdasági területeken ugyanezen időszak alatt

végbement drámai változásokkal (55%-os csökkenés 1980-2015 között, EBCC, 2018), azt mondhatjuk, hogy ezen indikátor alapján a gyakori erdei madárfajok populációinak trendjeiben, és talán az erdők általános állapotában Európa léptékében „csupán” enyhe negatív trend tapasztalható. Ha e számok értelmezéséhez segítségül hívjuk a szóban forgó madárfajok adatsorait, e nagyjából stabilnak tűnő trend mögött azonban nem sok stabil állományú madárfajt találunk: 12 madárfaj populációi nőttek, 13 madárfaj populációi csökkentek és csupán 9 faj állománya bizonyult stabilnak 1980-2015 között (lásd 1. táblázat második trend-oszlopa).

Ennyire nagy és különböző földrajzi területekről származó, ilyen sok faj adatait egyesítő index változása mögött olyan sokrétű okok húzódnak meg, amelyek feltárása komoly kihívás. Nyilván számos, kisebb térléptékben létező folyamat befolyásolja az index alakulását, amelyeket célszerűbb régiós, vagy országos szinten elemezni. Felmerül azonban a kérdés, hogy létezik-e néhány nagyobb léptékű jelenség, amelyek kimutathatóan befolyásolják az erdei madarak populációnak változásait Európa-szerte, mint amilyenek az éghajlatváltozás, vagy az intenzív erdőgazdálkodás általánossá válása? Gregory et al. (2007) megpróbáltak kapcsolatokat találni életmenet-paraméterek és madárfajok állományváltozásai között, hiszen ezek segíthetnének megérteni a feltárt trendek mögött húzódó okokat. Vizsgálták a fészkelési hely (talajon vagy lombkoronában költő), fészkelési típus (nyílt vagy zárt fészkekben költő), vonulási típus (állandó, rövidtávú vonuló, hosszútávú vonuló), táplálkozás (rovarevő, magevő, gyümölcssevő) és a testméret összefüggéseit az egyes fajok esetében megfigyelt trendekkel. Mivel e paraméterek messze nem függetlenek egymástól, az egyszerű korrelációk ebben az esetben keveset mondanak. Amikor általános lineáris modellek építésével próbálták megtalálni a minimum adekvát modellt, végül egyetlen paraméter összefüggését sikerült igazolni Európa-szinten az állományok csökkenésével: úgy tűnik, hogy az odúlakó madarak populációi erőteljesebb csökkenést mutattak a vizsgált időszakban, mint a nem odúlakó fajokéi. Kiegészítésül szeretném hozzátenni, hogy az odúlakó madárfajok az erdei madárközösségek számottevő részét képezik Európában, akár a madárfajok 36%-át, és a költőpárok 40%-át is kitehetik (Wesołowski 2007; van der Hoek et al. 2017) E jelenség az erdőgazdálkodás intenzifikációjára utalhat, ami jellemzően drasztikusan csökkenti az odúkészítésre alkalmas holtfa (különösen a kiemelkedően fontos álló holtfa, illetve magasan elhelyezkedő ágcsomók) és a nagy faegyedek mennyiségét az erdőkben. E feltételezést látszik alátámasztani az a tény is, hogy Európán belül Észak-Európa országai mutatják a legkomolyabb populációvesztést az erdei madarak esetében (Gregory et al. 2007), és ez egyértelmű összefüggést mutat néhány erdőgazdálkodási gyakorlat elterjedésével,

nevezetesen az erdei legeltetés felhagyásával, a lucfenyő kiterjedt telepítésével, és az idős állományok gyérítésének, illetve kitermelésének gyakoribbá válásával e régióban (Halia et al. 1980; Fraixedas et al. 2015). Szeretném kiemelni azonban, hogy az erdei élőhely-indikátorok viszonylagos stabil voltából nem volna helyénvaló arra következtetni, miszerint Nyugat- vagy akár Kelet-Közép-Európában kevésbé lenne intenzív az erdőgazdálkodás, csupán arra láthatunk némi bizonyítékot, hogy a vizsgált időintervallumban (körülbelül 1980-tól kezdődően) ez ügyben talán nem történt nagy változás ezekben az országokban. Ennek pedig valószínűleg az lehet az oka, hogy az erdőgazdálkodás általánossá válása és intenzifikációja (az ezekkel általában együtt járó élőhely-leromlással) Európa e régióiban már jóval korábban megtörtént.

Az erdei specialista madárfajok populációváltozásaiból képzett élőhely-indikátor alakulása Európa egyes régióiban jellegzetesen eltérő képet mutat. Amíg egészen komolyan csökkent 1980-2015 között Észak- és Dél-Európában (rendre -19%, illetve -25%, EBCC, 2018), addig ugyanezen időszak alatt nagyjából stabilnak tűnt Nyugat- és Kelet-Közép-Európában (+2%, illetve -6%, EBCC, 2018). Így, az összességében stabil/enyhén csökkenő trendek mögött egy összetettebb helyzetkép bontakozik ki. Európa egyes régióinak részletes helyzetelemzése túlmutat e dolgozat keretein, de röviden szeretnék kitérni a kelet-közép-európai erdei élőhely-indikátor változásaival kapcsolatban felmerülő lehetséges okokra (az indikátor számítási alapjául szolgáló madárfajokat és trendjeiket lásd az 1. táblázat harmadik trend-oszlopában). Gregory és munkatársai (2007) 1980-2003 közötti adatok alapján úgy találták, hogy Kelet-Közép-Európa élesen elkülönül Európa többi régiójának csökkenő trendjeitől, és ennek egyik lehetséges okaként a rendszerváltás, majd később az EU-csatlakozások környékén a mezőgazdasági területek felhagyását, így az erdőterületek mennyiségének kimutatható növekedését jelölték meg. Egyet kell értenem azonban a cikk íróival abban, hogy – ugyan e jelenség nyilvánvalóan örömteli legalább néhány okból kifolyólag – ezek az újonnan telepített/keletkező másodlagos erdők egyelőre elsősorban néhány gyakori, nem túlzottan érzékeny erdei madárfaj számára biztosítanak új élőhelyeket, vagyis még néhány évtizedig egészen biztosan csak az erdei fajok egy viszonylag szűk körének kedveznek majd (lásd még a témában Reif et al. (2013) publikációját). Érdekes, és megnyugtató adalék a régió trendjeinek értelmezéséhez, hogy Európa legnagyobb, nagyjából érintetlen őserdeje, a lengyel Białowieża Nemzeti Park intenzíven kutatott madárvilága a jelek szerint jól érzi magát: az itt költő 26 gyakori erdei madárfaj közül 18 faj állománya növekvő tendenciát mutatott, és csupán 3 hosszútávú vonuló madárfaj állománya csökkent az 1975-2009 közötti időszakban (Wesołowski et al. 2010).

Magyarországon, a hasonló európai programok sorába illeszkedve, a gyakori madárfajok állományainak hosszú távú változásait a Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület (a továbbiakban MME) Monitoring Központja által 1999-ben indított Mindennapi Madaraink Monitoringja (MMM) program követi nyomon. Mivel az MMM program adatait jómagam is használok két, ebben a doktori dolgozatban is bemutatásra kerülő munkámban, a program részleteivel kapcsolatban az olvasó tájékozódhat disszertációm 3.2.2. fejezetéből, még részletesebben pedig Szép et al. (2012)-es cikkéből. Az MMM program első 14 évének (1999-2012) eredményeit is ez a munka tekinti át, hiánypótló cikként a témában. A cikk megjelenése óta eltelt újabb évek adatsorai pedig a Magyar Madártani Egyesület Monitoring Központja által működtetett oldalon érhetőek el (MME/Birdlife Hungary 2017), ezen adatokkal néhány esetben én is kiegészítem a fent nevezett publikáció értékelését.

Mivel a módszer, jellegéből fakadóan, nem alkalmas a nagyon ritka madárfajok populációinak monitorozására, ezért Szép és mtsai. cikkükben csak az 5%-nál nagyobb frekvenciájú fajok adatait elemezték. Így a PECBMS által az erdei élőhely-indikátor számolásához használt 34 erdei madárfaj közül a hazai indikátort csupán 22 madárfaj adatai alapján számolták. Ez az erdei élőhely-indikátor 1991-2013 között Magyarországon szignifikáns, évenként 2,8%-os növekedést mutatott (Szép et al. 2012). Az MMM-felmérések során az önkéntes felmérők ÁNÉR-kategóriák (Fekete et al. 1997) használatával arról is információval szolgáltak, hogy az egyes madarak milyen élőhelyen fordultak elő, ami egyedülálló lehetőséget teremt a gyakori madárfajok élőhely-preferenciáinak igen nagy mennyiségű adaton alapuló vizsgálatára. Ezt a lehetőséget Szép és mtsai. 2012-es cikkükben ki is használták, és – tudomásom szerint ilyen nagy adatbázison Magyarországon elsőként – megvizsgálták a gyakori madárfajok élőhely-választási preferenciáit, ami számos erdei madárfaj esetében eltérést mutatott az európai trendektől. Egészen pontosan úgy tűnik, hogy hat madárfaj (karvaly – *Accipiter nisus*, zöld küllő – *Picus viridis*, erdei pityer – *Anthus trivialis*, barátposzáta – *Sylvia atricapilla*, fitiszfűzike – *Phylloscopus trochilus* és szürke légykapó – *Muscicapa striata*), amely az EBCC-ajánlás alapján erdei indikátor faj lenne, a hazai adatok alapján nem elsősorban erdei élőhelyekhez kötődik (állományainak kevesebb, mint 66%-a él erdőben), ellenben öt madárfaj (nagy fakopáncs – *Dendrocopos major*, erdei pacsirta – *Lullula arborea*, vörösbegy – *Erithacus rubecula*, kék cinege – *Cyanistes caeruleus* és erdei pinty – *Fringilla coelebs*), amely az EBCC-listában nem szerepel, Magyarországon zömmel erdei élőhelyeken fordul elő. Ezért Szép és mtsai. közölnek egy második, alternatív erdei élőhely indikátort is, amelyet azon 21 madárfaj adatai alapján számoltak, amelyek frekvenciája nagyobb, mint 5%, és a hazai élőhely-preferenciáik alapján elsősorban erdei

élőhelyekhez kötődnek. E második indikátor értéke 1991-2013 között úgyszintén szignifikáns, évente 3,1%-os növekedést mutatott. Tehát a számottevő mennyiségű eltérő faj ellenére, a két indikátor nagyon hasonló, pozitív irányú trendet mutat. Utóbbi indikátor változásai az azóta eltelt években is nyomon követhetők az MME Monitoring Központja által működtetett honlapon (MME/Monitoring Központ 2018), és az itt közölt adatok alapján 1999-2017 között az évi 3,1%-os növekedésnek köszönhetően összességében az indikátor értéke 79%-al nőtt a kiindulási évhez képest.

Ezen indikátorok értelmezésének egyik kézenfekvő lépése a szóban forgó, összesen 27 madárfaj trendjeinek megvizsgálása (lásd 1. táblázat negyedik trend-oszlopa). Az adatgyűjtés módszeréből adódóan e 27 madárfaj közül éppen a legritkább, így talán leginkább sérülékeny fajok közül 7 faj esetében a statisztikai bizonytalanság mértéke miatt a trend nem megállapítható. A maradék 20 madárfaj közül 13 madárfaj állománya nőtt, 5 fajé stabilnak bizonyult, és csupán 2 faj (erdei pacsirta és szürke légykapó) állománya mutatott csökkenő tendenciát (lásd 1. táblázat), ami önmagában elég megnyugtató képet fest erdeink állapotáról. Kissé árnyalja azonban a képet, ha megvizsgáljuk még néhány, az MMM által már nem elég jól monitorozható, ritkább erdei madárfaj hazai állományainak alakulását is. Ilyenek például a fehérhátú fakopáncs - *Dendrocopos leucotos*, a hamvas küllő - *Picus canus*, a kis légykapó - *Ficedula parva*, a kormos légykapó - *Ficedula hypoleuca*, az erdei szürkebegy - *Prunella modularis*, a kerti rozsdafarkú - *Phoenicurus phoenicurus*, a kerti geze - *Hippolais icterina* vagy a hegyi fakusz - *Certhia familiaris*. E madárfajok állományairól sokkal kevésbé pontos adatokkal rendelkezünk csupán – egy részükről az elérhető legrészletesebb információkkal még mindig az MMM szolgál, bár az ilyen ritka fajok monitorozására az már csak igen kevésbé alkalmas. Más fajokról az MME Ritka és Telepesen fészkelő madarak Monitoringja (RTM) programja nyújt némi információt, de általában elmondható, hogy – egy-két madárfaj kivételével – az állomány-adatok, és különösen a populációk évenkénti alakulása, az önkéntes felmérők kapacitásainak korlátos volta miatt, sokkal kevésbé pontosak. E nehézségek eredőjeként az MME honlapján (MME/Birdlife Hungary 2017) közölt adatok szerint a fent felsorolt nyolc madárfaj közül az állomány méretének változása három esetben (kerti geze, kormos légykapó és hegyi fakusz) nem ismert. A többi faj közül három esetében (kis légykapó, erdei szürkebegy és kerti rozsdafarkú) ismerten csökkenő tendenciáról beszélhetünk, kettő faj (fehérhátú fakopáncs és hamvas küllő) állománya stabilnak tűnik, növekvő állományú pedig ezek között a fajok között nincsen. Vagyis összességében azt mondhatjuk, hogy a ritkább erdei madárfajok esetében az összkép már korántsem olyan pozitív, sőt, az is elképzelhető, hogy a gyakoribb madárfajok még gyakoribbá válásának egyik

oka, hogy átveszik a kiszoruló érzékenyebb fajok helyét. Ugyan doktori dolgozatomban e legritkább, leginkább sérülékeny fajok helyzetéről a továbbiakban kevés szó fog esni, ezt a jelenséget erdeink általános állapotának értékelésekor mégsem hagyhatjuk figyelmen kívül.

A továbbiakban megpróbálom sorra venni az erdei madarak hazánkban tapasztalható állományváltozásainak lehetséges okait. Ahogyan azt Szép és mtsai. (2012) is megjegyzik, annak, hogy viszonylag nagyszámú erdei madárfaj állományai mutattak az elmúlt egy-két évtizedben növekvő trendeket, egyik oka valószínűleg – több környékbeli országhoz hasonlóan – az erdők arányának növekedése ugyanebben az időintervallumban, először a rendszerváltás (1990), majd az EU-csatlakozás (2004) folyamányaként (lásd Gregory et al. 2007). Az ország erdőszültsége 1990-2010 között 18,2%-ról 20,7%-ra változott (Standovár 2012), amely számottevő, nagyjából 14%-os növekedésnek felel meg. Ezek a telepítések nagyon nagy részben mezőgazdasági művelés alól kikerült területeken létesültek, és zömmel akác, illetve nemesnyár fafajú ültetvényekről van szó (Standovár 2012). Mivel egy újonnan telepített erdő – fajtától függően – az első néhány évben a madarak szempontjából inkább cserjés területként funkcionál, az erdei madarak számára pedig számottevő élőhelyként csak az állomány záródásától kezd válni (Calladine et al. 2018), az erdőtelepítések hatása az erdei madarak állományainak alakulására egy hosszabb távon jelentkező folyamat. Mivel az erdőállomány nagy vonalakban életkorának növekedésével egyre több és többféle madárfajnak tud otthont nyújtani, az erdőtelepítések pozitív hatása az erdei fajok állományaira, nem túlzás azt állítani, hogy a telepítés után még évtizedekig megfigyelhető. Éppen ezért, ahogyan azt Gregory és mtsai. (2007) is előre vetítik Kelet-Közép-Európával kapcsolatban, Magyarországon is valószínűleg arra lehet számítani, hogy a gyakori-közepesen gyakori erdei madárfajok állományai még a következő 1-2 évtizedben is növekvő tendenciát fognak mutatni ezen erdőtelepítések hatására. Ezzel együtt is nehezen hihető azonban, hogy az erdei élőhely-indikátor 1999 óta tapasztalt ilyen mértékű növekedéséért csupán ezek a fiatal ültetvények feleljenek egymagukban.

Erdeink koreloszlását szemlélve (NÉBIH 2016) felmerül egy másik olyan jelenség is, amely felelős lehet e pozitív trendek egy részéért. Magyarországon a második világháború során aránytalanul sok erdőt termeltek ki, és e területeket a háborút követő években, nagyjából egyszerre telepítették újra. Ennek köszönhetően jelenleg igen sok relatíve idős (jelenleg kb. 70 év körüli) állományunk van, amelyek a vágáskort még nem érték el, de már kezdenek kifejezetten jó élőhelyként funkcionálni az erdei madárközösségek szempontjából. Vagyis összességében jelenleg (előreláthatóan még maximum két-három évtizedig) egyre nő erdeink átlagos életkora az erdők e korcsoportja hatására. Amennyiben az erdei madarakkal

kapcsolatos pozitív trendek részben ennek a jelenségnek köszönhetők, sajnos a kép csak egy ideig lesz ennyire kedvező, természetesen ezeknek az állományoknak a véghasználatakor az erdei madarak populációiban is határozott visszaesésre kell számítani.

A fás vegetációval borított területek arányának növekedése – még ha ezek zömmel csupán természetvédelmi szempontból kevésbé értékes ültetvények is – a gyakori erdei madarak élőhelyének kibővülésén túl is számos okból (például az ilyen vegetáció mikroklímára, talajra és vízkészletekre gyakorolt pozitív hatása miatt) örömteli folyamat. Az erdei madarak állományváltozásainak értékelését azonban ez némileg megnehezíti, mivel az élőhely arányának növekedése könnyen elfedhet egyéb erdeinkben zajló folyamatokat – jelen esetben még annak megállapítása sem könnyű, hogy vajon a többi erdőben milyen irányú a trend. Arról, hogy hogyan változnak a régóta létező erdeink madárközösségei, leginkább úgy lehetne információt szerezni, ha volnának olyan erdeink, ahol hosszabb idő óta évről évre történne madár-felmérés, de sajnos Magyarországon én ilyen hosszú távú vizsgálatról nem tudok. Kis támpontul szolgálhat például a Białowieża Nemzeti Park régóta kutatott madárvilága, ahol az emberi tevékenység (egészen a legutóbbi időig) nem hathat ki a madárközösségek alakulására: ahogy azt korábban már említettem, a legtöbb erdei madárfaj állományai itt is stabil vagy még inkább növekvő trendeket mutatnak (Wesołowski et al. 2010). Ezt látva bennem felmerül lehetőségként, hogy esetleg már maga az éghajlatváltozás hathat ki - egyelőre pozitívan - az erdők madár-eltartó képességére: a magasabb CO₂-szint miatt növekedő biológiai produkció (Ainsworth & Long 2005), az enyhébb telek (Wesołowski et al. 2018) és esetleg a hosszabb vegetációs periódus mind lehetnek pozitív hatással egyes erdei madarakra.

Ugyan nem tartozik közvetlenül az erdei madarak körében tapasztalható pozitív trendek lehetséges okaihoz, kiegészítésül mégis itt szeretnék megemlíteni egy jelenséget, amely árnyalhatja e trendek felett érzett örömünket: valójában erősen úgy tűnik, hogy Európa nagy részén határozott csökkenést mutatott az erdei specialista fajokból képzett élőhely-indikátor nagyjából 1980-1990 között (Gregory et al. 2007), majd azóta e csökkenés Európa legtöbb országában lassult, vagy megállt. Az, hogy e jelenségnek mi lehetett az oka, nem teljesen világos. Azt azonban, hogy nálunk mi történt ezen időszak alatt, nem tudhatjuk, hiszen a Mindennapi Madaraink Monitoringja Program csupán 1991 óta folyik.

Az erdei élőhely-indikátorok számításához Magyarországon használt 27 madárfaj közül mindkét csökkenő trendet mutató faj (erdei pacsirta és szürke légykapó, lásd 1. táblázat) hosszútávú vonuló, ami sajnos jól beleillik abba az általános képbe, amely szerint a hosszútávú vonuló madárfajok általában fogynak Európa-szerte (Sanderson et al. 2006;

Møller et al. 2008; Jiguet et al. 2010). Ennek egyik oka sok esetben valószínűleg a telelőterületeken zajló negatív változásokban keresendő. Több angol vizsgálatban (Hewson & Noble 2009; Thaxter et al. 2010) találtak például összefüggést hosszútávú vonuló madárfajok trendjei és a fajok telelőterületei között, ezek szerint a Nyugat-Afrika (egyre fogyatkozó) trópusi erdeiben telelő hosszútávú vonuló madárfajok állományai erősebb negatív trendeket mutatnak, mint a Kelet-Afrika száraz szavannáin telelő fajokéi. Másrésztől azonban úgy tűnik, hogy a hosszútávú vonuló madárfajok populációváltozásai jellegzetes eltéréseket mutathatnak élőhelyük függvényében. Both és munkatársai (2009) úgy találták, hogy tíz hosszútávú vonuló, Hollandiában 1984-2004 között csökkenő tendenciát mutató madárfaj esetében a fajok erdei populációi erőteljesebb csökkenést mutattak, mint ugyanazon madárfajok bozótosokban és cserjésekben élő populációi. A szerzők e jelenséget azzal magyarázzák, hogy az erdőkben – a mezőgazdasági területekhez hasonlóan – a táplálékhiány egy igen rövid időszakra korlátozódik, és az éghajlatváltozás miatt előrébb tolódó táplálékcsúcsához a hosszútávú vonuló madárfajok tudnak legnehezebben alkalmazkodni, „lekésik” azt (lásd még Saino et al. 2011). Ezzel szemben az átmeneti cserjés területeken a táplálék időbeli eloszlása sokkal kiegyenlítettebb (Both et al. 2009).

2.2. Erdei madárközösségek és környezetük közötti összefüggések

Európa mérsékelt övi lombhullató erdei, és a bennük található madárközösségek igen sokfélék. E változatosság okait, vagyis hogy miért különbözik az egyik erdő madárközössége (például fajszámában, egyedszámában, vagy az alkotó fajokban) a másiktól, már nagyon sok kutatás vizsgálta. A Fuller 1995-ös könyvében szereplő felosztás szerint (62. oldal) a madárközösségek gazdagságával összefüggést mutató jellemzők nagyjából öt csoportba sorolhatók: (1) geológiai tényezők (mint amilyen a földrajzi helyzet, tengerszint feletti magasság, vagy a talaj produktivitása), az erdők (2) fafajösszetétele, (3) faállomány-szerkezete, (4) a táji környezet sajátosságai, végül pedig (5) a fajok közötti, illetve fajon belüli interakciók. Az (1) és (5) tényezők közös jellemvonása, hogy vizsgálni ugyan tudjuk őket, és a kutatások számos izgalmas jelenségre fényt is derítettek, mivel az erdei madarak életét sok esetben valóban erőteljesen befolyásoló szempontokról van szó, azonban ezek a tényezők a mi tevékenységünkől nagyjából függetlenek (A témával kapcsolatban némi áttekintést talál az érdeklődő olvasó Fuller (1995) könyvének 4. fejezetében. Ezzel szemben a (2)-(3)-(4) tényezők közös jellemzője, hogy az erdőgazdálkodáson (legyen az bármilyen célú) keresztül

erőteljesen befolyásolhatók, sőt, ma már itt, Európában, az erdők ember általi befolyásoltsága olyan nagy, hogy elég nagy részben mi határozzuk meg őket, és ezen keresztül nyilvánvalóan az erdei madárközösségek alakulására is számottevő hatással vagyunk. Éppen ezért e dolgozat bevezető fejezeteiben az erdők, illetve a táj e jellemzői és a madárközösségek között Európa mérsékelt övi, elsősorban lombhullató erdeiben feltárt legfontosabb összefüggéseket próbálom áttekinteni (2.2.1., 2.2.2. és 2.2.3. alfejezetek), majd külön kitérek arra is, hogy ezt az általánosabb képet tudjuk-e kissé pontosítani hazai vizsgálatokból származó eredményekkel (2.3. alfejezet). A fent felsorolt öt jelenségcsoport nyilvánvalóan számos ponton egymással is összefügg, így valójában ezek és ezek interakciói együttesen alakítják az erdők madárközösségeit, én most mégis - amennyire ez lehetséges - megpróbálom külön-külön áttekinteni a fafajösszetételnek, a faállomány-szerkezetnek, valamint a táji környezetnek a madárközösségekkel mutatott legfontosabb ismert összefüggéseit.

2.2.1. Erdei madárközösségek és a fafajösszetétel összefüggései

Meglepő módon úgy tűnik, hogy az európai mérsékelt övi lombhullató erdők zónájában előforduló fő erdőtípusok (például bükkösök, különböző tölgyesek, kemény- és puhafa ligeterdők), élesen különböző fafajösszetételük ellenére, egymáshoz nagyon hasonló erdei madárközösségeknek adnak otthont mind kisebb (Tomiałojć & Wesołowski 2004), mind nagyobb (Fuller et al. 2007) földrajzi skála mentén vizsgálva. Az egyes erdő-típusok jellemző madárközösségeinek részletes leírásait Wesołowski és mtsai. (2018) adták meg, én itt csupán arra az általános jelenségre szeretném felhívni a figyelmet, miszerint az eltérő fő fafajú európai mérsékelt övi lombhullató erdők madárközösségei gyakori fajaikat tekintve nagyon hasonlítanak, különbségeket pedig leginkább néhány ritkább madárfaj előfordulásában találunk. A tűlevelű erdők madárközössége azonban markánsan különbözik a lombos állományokétól: a madarak faj- és egyedszáma egyaránt alacsonyabb, és a fenyvesekben több erősen specializált életmódú fajt találunk (Tomiałojć & Wesołowski 1990). Érdekes jelenség, hogy a lucok (*Picea spp.*) kicsit több madárnak nyújtanak életteret (von Haartman 1971), mint az egyéb, Európában előforduló tűlevelű fafajok. E tendenciától eltekintve azonban úgy tűnik, hogy a különböző fafajösszetételű erdőállományok madárközösségei közötti különbségek nagyon nagy része leginkább az erdőállományok közötti szerkezeti különbségekkel magyarázható.

Ezzel együtt azonban ismert néhány kapcsolat az erdei madarak és az erdőt alkotó egyes fafajok között, bár ezek relatív fontossága kisebb az erdőszerkezet hatásához képest, utóbbi azokat könnyen elfedheti (Fuller & Henderson 1992). Például, az erdei madárközösség számottevő hányadát kitevő odúlakó madarak kedvelik a puhafák (például fűzek – *Salix spp.*, nyarok – *Populus spp.* és nyír – *Betula pendula*) jelenlétét, mivel azokban sokkal több természetes odút találnak (Ónodi & Winkler 2014), illetve az elsődleges odúlakó madárfajok is szívesebben készítik odúikat ezekbe a fafajokba (Remm & Löhmus 2011). Mivel e fafajok fájában könnyebben és hamarabb indulnak meg korhadási folyamatok, a holtfában élő rovarokkal táplálkozó madárfajok (elsősorban a harkályok) számára e fák jelenléte táplálkozás szempontból is kedvező lehet (Roberge et al. 2008). Az Európában fennmaradt legnagyobb összefüggő elsődleges erdőben, Białowieżában, megfigyelték, hogy a kislevelű hárs (*Tilia cordata*) jelenléte kiemelkedően fontos az odúlakó madarak számára, mivel ebben számottevően hamarabb indulnak be a természetes odúképződési folyamatok, mint a fő erdőalkotó fafajok többségénél (Wesołowski 2012). Arra is találunk némi bizonyítékot, miszerint a rovarévó madárfajok szívesebben táplálkoznak bizonyos fafajokon, miközben elkerülnek másokat (Holmes & Robinson 1981; Peck 1989), valószínűleg az azokon elérhető rovertáplálék mennyiségével és jellegével összefüggésben. Például a hazai erdőalkotó fafajok közül a tölgyek magasan kiemelkednek a hozzájuk kötődő növényevő rovarfajok fajszaát és mennyiségét tekintve egyaránt (lásd például Csóka & Lakatos 2015). A faállomány szerkezetének és fafajösszetételének madárközösségekkel való összefüggéseit azonban azért is nagyon nehéz megítélni, mivel e kettő kölcsönösen és erősen összefügg egymással, vagyis egyes fafajokhoz sokszor rájuk jellemző faállomány-szerkezet társul (Hewson et al. 2011). Például az erősen árnyaló bükk és a gyertyán alatt sok esetben az árnyékos körülmények miatt kevésbé fejlett a gyepter- és cserjeszint, amíg például a puhafa ligetekre a tápanyagdús, vízben gazdag körülmények, és kevésbé árnyékoló fő fafajok miatt éppen ellenkezőleg, gazdag alsóbb szintek jellemzőek (Wesołowski et al. 2018). A hazai erdők több, mint 20%-át kitevő akácok (Standovár 2012), ritkás szerkezetük és N-kötő tulajdonságuk miatt szintén igen dús gyepter- és cserjeszint kialakulásának kedveznek, ami a madárközösségükben is megmutatkozik (Hanzelka & Reif 2016). Ilyen esetekben nagyon nehéz szétválasztani az erdőszerkezet és a fafajösszetétel hatását.

Ugyan alapvetően úgy tűnik, hogy az erdei madarak túlnyomó többsége nem kötődik egy vagy néhány konkrét fafajhoz, hanem sokkal inkább érzékeny a faállományok szerkezetére, e sok kis – fafajok és madarak közötti – összefüggés eredményeként logikusan adódik a feltételezés, miszerint az elegyesség növekedése kedvező az erdei madárközösségek

gazdagságára nézve. Bár ez az állítás messze nem tűnik általános érvényűnek, valóban úgy tűnik, hogy esetenként ez a helyzet (lásd például C J Bibby, Aston, & Bellamy, 1989; Peck, 1989; Wilson, Gittings, Kelly, & O'Halloran, 2010). Ráadásul a külön-külön ismert madárfaj kapcsolatokon kívül sok madárfaj képes ezeken felül hasznot húzni a többféle fafaj egyidejű jelenlétéből – például a lucfenyő megjelenését elegyfaaként sok madárfaj kedveli, mivel különösen sűrű ágai között szívesen raknak fészket (Mackenzie 1945). Ahogyan azt Fuller & Robles (2018) megjegyzik, a fafajösszetétel madarakkal való összefüggéseit még mindig igen kevésbé értjük, annak ellenére, hogy az elegyesség növelése – az erdők éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodását segítő – egyre inkább terjedő stratégia.

2.2.2. Erdei madárközösségek és a faállomány-szerkezet ismert összefüggései

Kissé talán meglepő módon tehát úgy tűnik, hogy Európában a mérsékelt övi lomberdők madárvilága, azok fő fafajától függetlenül, meglehetősen hasonlóak bizonyul, a tapasztalt eltérések pedig leginkább az erdőállományok szerkezetével állnak összefüggésben (MacArthur & MacArthur 1961; Virkkala 1991; Wilson et al. 2006; Archaux & Bakkaus 2007; Muller et al. 2010). Az is egyértelműnek tűnik azonban, ahogyan azt Fuller (Fuller 1995, 74. oldal) is megjegyzi, hogy a faállomány szerkezetének fontossága erősen függ az adott vizsgálat mintaterület-választásától: eltérő korú, vagy erősen különböző szerkezetű állományoknál – nem meglepő módon – a faállomány szerkezete nagyobb hatással bír, mint homogénebb állományok esetében. Természetesen az erdei madarak nem közösségszinten reagálnak élőhelyük szerkezetére, hanem minden egyes madárfajnak speciális igényei és jellemvonásai vannak (ezeket például áttekinthetjük Fuller (1995) munkájának 1. és 2. mellékletei alapján), amelyek élőhely-preferenciáikat alakítják. Azonban léteznek az erdőknek olyan szerkezeti jellemzőik, amelyek számos erdei madárfaj életkilátásaira hatnak erőteljesen, így a faj- és egyedgazdag erdei madárközösségek meglete ezekkel igen erősen összefügg. E fejezet további részében ezeket, az erdei madárközösség szempontjából kiemelkedően fontosnak tűnő szerkezeti jellemzőket veszem sorra.

Az egyik leginkább egyértelmű, nagyon régóta ismert ilyen összefüggés, hogy minél kifejezettebb egy erdő vertikális színtezettsége, annál gazdagabb annak madárvilága (MacArthur & MacArthur 1961; Moss 1978). Egyrészt igaz ez oly módon, hogy általában erősen összefügg egy erdőben található zöld vegetáció mennyisége és a madárközösség gazdagsága. Ismert jelenség, hogy a produktívabb talajon kialakuló, nagyobb biomasszát

felépítő erdők gazdagabb madárközösségeket tartanak el (von Haartman 1971; Newton et al. 1986). Emellett legtöbb esetben egy egykorú, telepített erdőállomány növekedése során is egyre nő a benne életfeltételeit megtaláló madarak száma (Helle & Mönkkönen 1990), bár egy erdő érése során a biomassa és a színtezetség növekedése nem az egyedüli olyan szerkezeti változás, amely pozitív hatással lehet az erdei madarakra. Mivel a nagyobb biomassa általában több táplálékkal, illetve több lehetséges költő és búvóhellyel szolgál a madaraknak, ez az összefüggés nem meglepő. Másrészt azonban szintén régi keletű felismerés, hogy az erdei madárfajok a vegetáció eltérő szintjeit részesítik előnyben táplálkozás során (Colquhoun & Morley 1943), ahogyan költőhelyük is fajra jellemző (lásd Fuller 1995, 1. és 2. mellékletek). Amíg – definíciójából fakadóan – az erdőknek lombkoronaszintjük általában van, addig a gye- és cserjeszint fejlettsége igen eltérő lehet, sőt, sok esetben ezek gyakorlatilag teljesen hiányoznak. Mivel e két szinthez Európa mérsékelt övi lombhullató erdeiben több madárfaj is kötődik, ezek meglepte igen nagy hatással bír az erdei madárközösségek gazdagságára.

Ahogy az a hazai MMM-felmérés adatainak értékelése során is kitűnt (Szép et al. 2012), számos madárfaj Európa különböző részein más-más élőhelyeken találja meg életfeltételeit. Pontosabban számos olyan madárfaj, amely Európa számottevő részén erdei élőhelyekhez kötődik, nálunk inkább cserjés-átmeneti területeken fordul elő, és fordítva (e fajokat magam is felsoroltam a 2.1. fejezetben). Éppen ezért a gye- és cserjeszinthez kötődő madárfajok számba vételekor a nemzetközi ismereteket (lásd például Robert J. Fuller átfogó munkáját a témában: Fuller 1995, 1. és 2. mellékletek) egyes esetekben pontosítom a meglevő hazai tudással (MME/Birdlife Hungary 2018). Érthető módon kedvelik a sűrű gyepszintű erdőket azok a madárfajok, amelyek előszeretettel táplálkoznak a talajon: ilyen fajok például a fekete rigó (*Turdus merula*), az énekes rigó (*Turdus philomelos*), a vörösbegy (*Erithacus rubecula*) és az ökörszem (*Troglodytes troglodytes*). A gye- és cserjeszint, illetve az ahhoz kötődő madárfajok a természetben sokszor nem különülnek el élesen, például általában kedveli a sűrűbb alsó szintekkel rendelkező élőhelyeket a legtöbb poszátafaj, közülük erdőben Magyarországon leggyakrabban a barátposzáta (*Sylvia atricapilla*) fordul elő. Szintén kedveli az ilyen állományokat a csilpcsálpfűzike (*Phylloscopus collybita*) és a fitiszfűzike (*Phylloscopus trochilus*) is. E fajok közül jó pár fészkeik is a talajon (erdei pityer, ökörszem, vörösbegy), vagy az alsóbb szintek sűrű növényzetében (rigók, poszáták, és fűzikék) építi. Ahogy ebből a felsorolásból is kitűnik, jó néhány erdei madárfaj kedveli a sűrű gye- illetve cserjeszintű erdőket, ezért nem meglepő, hogy a gazdag alsó szintekkel rendelkező erdők általában faj- és egyedgazdagabb madárközösséggel bírnak. Érdekes azonban, hogy létezik 1-

2 madárfaj, amely látszólag kifejezetten kerüli ezeket az állományokat. Fuller (1995) szerint ilyen a sisegő füzike (*Phylloscopus sibilatrix*), a kormos légykapó (*Ficedula hypoleuca*) és az erdei pityer (*Anthus trivialis*). Amíg az előző két faj esetében a hazai adatok (és saját tapasztalataim is) egybeesnek ezzel az állítással, addig az erdei pityer Magyarországon kifejezetten nyílt, ligetes, sűrű aljú erdőkben fordul elő (MME/Birdlife Hungary 2018). E fajok is arra hívják fel a figyelmet, hogy mindenképpen előnyös, ha erdeink minél inkább sokfélék, ahogy az ezeket benépesítő madárfajok igényei is azok.

Az aljnövényzet jellegét több tényező is befolyásolja. Ahogyan arról korábban már esett szó, egyes fafajok, például a tölgyek, puhafák és az akác természetüknél fogva sok fényt engednek az alsóbb szintekre, így gazdag gyp-és cserjeszintű állományokat hoznak létre. Ezzel szemben például a bükkösök, és a gyertyánt is tartalmazó tölgyesek zárt állományainak igen szegényesek lehetnek az alsóbb szintjei. Fontos azonban kiemelni, hogy ez csak az egykorú, elsődlegesen gazdasági rendeltetésű erdőkre vonatkozik, hiszen egy természetszerű, többkorú állományban mindig találunk lékeket, fiatalos foltokat is. Általában elmondható, hogy a természetszerű erdők jellemzően nyíltabbak a ma jellemző egykorú állományoknál (például az ilyen bükkösök cserjeszintje kifejezetten gazdag, lásd: Begehold et al. 2016). Sűrű alsóbb szintek alakulnak ki ezeken túl például az erdők széleinél, erdőt átszelő szélesebb utak mentén, illetve bármilyen, akár természetes, akár mesterséges eredetű lékben, vágásterületen (Fuller 1995, 68-71. o). Ezen kívül azonban Magyarországon és Európa-szerte számos esetben felülírja a fényviszonyok által teremtett lehetőségeket a vadak rágása, illetve az erdőgazdálkodó cserjeszintet visszaszorító tevékenysége (Fuller & Robin 2001; Simončič et al. 2018). E felsorolásból is látható, hogy e két szint is olyan szerkezeti elemnek számít, amelyet alapvetően befolyásol az emberi tevékenység.

Az erdei környezetnek egy következő, madarak számára kiemelkedően fontos „szerkezeti eleme” a holtfa mennyisége. A földre zuhant ágak, ágdarabok és fatörzsek, álló holtfa egyedek, illetve a még élő fák elhalt részei mind igen fontosak egyes erdei madarak számára (Anglestam & Mikusiński 1994; Rosenvald et al. 2011). Az erdei madarak több módon is kapcsolódnak a holtfához, mint szerkezeti elemhez. A harkályok több faja (leginkább a *Dendrocopos* nemzetségbe tartozó fakopáncsok és a fekete harkály – *Dryocopus martius*) számára, illetve a kéregrepedésekben keresgélő csuszka (*Sitta europaea*), illetve fakuszok (hegyi fakusz - *Certhia familiaris* és rövidkarmú fakusz - *Certhia brachydactyla*) számára a holtfa fontos táplálkozó hely egész évben (Fuller 1995). Télen pedig, amikor az egyéb elérhető táplálék sokkal szűkösebb, a holtfában található gerinctelenek még nagyobb jelentőségűek (Anglestam & Mikusiński 1994; Smith 2007). Az elsődleges odúlakó

madárfajok – e csoportba tartozik a Magyarországon előforduló összes harkály, a nyaktekercs (*Jynx torquilla*) kivételével – költésükhöz odút készítenek, a legtöbb faj minden költés alkalmával egy újabbat, és ehhez számos esetben választanak álló holtfát, vagy egy élő faegyed részben vagy egészben elhalt, korhadó részét (Wesołowski 1989, 2011). Valójában a nálunk előforduló harkályfajok közül egyedül a nagy fakopáncs (*Dendrocopos major*) és a fekete harkály (*Dryocopus martius*) erősek annyira, hogy teljesen egészséges, élő fába is képesek legyenek odút vájni (Pasinelli 2007; Wesołowski 2011; Zahner et al. 2012), bár még ezek a testesebb fajok is sok esetben választanak olyan részt az odúkészítéshez, ami már egy kissé korhadt (Pasinelli 2007; Blanc & Martin 2012). A többi harkályfaj azonban jellemzően holt, vagy elhaló félben levő fát választ az odúkészítéshez. Különösen a kisebb testű, gyengébb csőrű harkályok (kis fakopáncs – *Dryobates minor* és közép fakopáncs – *Leiopicus medius*) igényelnek erősen korhadt, lehetőleg eleve puhább szövetű fát odúik elkészítéséhez (Fuller 1995). Erdeinkben azonban számos másodlagos odúlakó madárfaj is él, amelyek odvakban költenek, azonban egyáltalán nem, vagy csak részlegesen képesek azok elkészítésére. Magyarország lombhullató erdeiben ilyen fajok elsősorban a kék galamb (*Columba oenas*), a nyaktekercs (*Jynx torquilla*), a légykapók (*Ficedula albicollis*, *Ficedula hypoleuca*, *Muscicapa striata*, *Ficedula parva*), a cinegék (*Parus major*, *Cyanistes caeruleus*, *Poecile palustris*), a csuszka (*Sitta europaea*), és a seregély (*Sturnus vulgaris*). Kézenfekvőnek tűnik a gondolat, hogy ezek a fajok nagy mértékben függjenek a harkályok által készített odúktól. Úgy tűnik azonban, hogy – bár e fajok számos esetben valóban költenek harkályok által vájt odvakban – Európa mérsékelt övi erdeiben a másodlagos odúlakó madárfajok sokkal szívesebben választanak természetes odvakat, még akkor is, ha előbbiek nagy bőségben állnak rendelkezésre (Wesołowski 2007; Maziarz et al. 2015). Ennek a jelenségnek az okai nem teljesen feltártak, bár eléggé valószínűnek tűnik, hogy a harkályok között Európában magasan leggyakoribb nagy fakopáncs fészekrábló viselkedése előkelő helyen áll azok között (Nilsson 1984; Walankiewicz 2002; Paclík et al. 2009). A további lehetséges magyarázatok részletes elemzése túlmutat doktori dolgozatom témáján, azonban azt az érdeklődő olvasó megtalálja Wesołowski és Martin (2018) könyvfejezetében. Mivel a költésre alkalmas természetes üregek keletkezése a természetben a faanyag korhadásán alapul (Cockle et al. 2011), a másodlagos odúlakó madarak közvetlenül is igénylik e folyamatokat, így az elhalt faanyag jelenlétét. Ha e két madárcsoportot (elsődleges és másodlagos odúlakó fajokat) együtt vizsgáljuk, akkor kitűnik, hogy erdőtípustól függően Európa idős erdeiben az erdei madárközösségek számottevő részét, akár a költő madárfajok 20-40%-át, és a madárpárok 35-60%-át is alkotják (Wesołowski et al. 2018). Az a tény, hogy e két csoport

ilyen nagy részét képezi az erdei madárközösségnek, még inkább kiemeli a holtfa, mint szerkezeti elem fontosságát az erdei madárközösségek számára. Ezzel összecsengő módon egyes kutatások valóban pozitív kapcsolatot találtak a madárközösség faj- és egyedszáma és a holtfa mennyisége között (Nilsson 1979). Azonban, ahogyan azt Fuller (1995, 76. oldal) is kifejti, a holtfa mennyisége akár közvetlen pozitív hatással is lehet számos madárfajra, hiszen nagyon sok rovarfaj kötődik élete egy részében a holtfához, amelyek azután életük más részében táplálékkul szolgálhatnak számos rovarevő madárfaj számára.

Az erdei környezet harmadik olyan szerkezeti jellemzője, amely ismerten és számottevő módon összefügg az erdei madárközösségek gazdagságával, a nagy fák jelenléte. Egyrészt (ahogyan arról már a fejezet korábbi részeiben is esett szó) általános szabályként igaz, hogy a madárközösség faj- és egyedszáma is növekszik a jelenleg elterjedt egykorú faállományokban azok életkorának növekedésével (Helle & Mönkkönen 1990). Ennek egyik kézenfekvő oka, hogy jó néhány madárfaj (az odúlakók és néhány magevő) csak az idősebb állományokban találja meg életfeltételeit. Például az odúlakó madarak a költéshez szükséges odúk révén nyilvánvalóan igénylik az ezek elkészítésére alkalmas fák jelenlétét. Białowieża régóta behatóan kutatott erdeiben (és nagy vonalakban valószínűleg a legtöbb európai, mérsékelt övi lombhullató erdőben is) a legkisebb mellmagassági átmérőjű faegyed, amelyben bármiféle odúlakó madár költeni tud 11 cm (barátcinege - *Poecile palustris*, Wesolowski and Martin 2018), de a költésre alkalmas odúk számottevő része ennél jóval nagyobb fákban található. A harkályok nagy részének legalább 20 (Kosinski & Winiecki 2004), de a fekete harkálynak (*Dryocopus martius*) például legalább 38 cm átmérőjű fára van szüksége odúja kivájásához (Wesolowski & Martin 2018). Az előbbi méretet egyes puhafák (például a nyír – *Betula pendula*) akár 30 év alatt is elérhetik (Smith 1997), de a fő erdőalkotó keményebb fafajok (*Quercus spp.*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus spp.*) csupán 60-90 éves koruk után válnak alkalmassá odúkészítésre (Löhmus & Remm 2005). Mikusiński és Angelstam 1997-es átfogó munkájukban úgy találták, hogy több harkályfaj elterjedését Európa szinten kimutatható módon korlátozza az odúkészítésre és táplálkozásra alkalmas nagy fák hiánya. A másodlagos odúlakó madarak számára Európában kiemelkedően fontos, költésre alkalmas természetes üregek kialakulása még ennél is idősebb fákat igényel. Minél idősebb egy fa, annál nagyobb valószínűséggel található benne költésre alkalmas, korhadással keletkezett üreg (Remm & Löhmus 2011). Például Białowiezában leghamarabb 70-80 éves korban kezdenek megfelelő odvak kialakulni a kislevelű hársakban (*Tilia cordata*), egyéb kemény fájú fafajokban azonban a legtöbb természetes üreg ennél jóval idősebb korban, 130 (pl. *Fraxinus spp.*), vagy akár 200 évesen (*Quercus robur*) alakul csak ki (Wesolowski 2012). A másik ok, amiért a

madárközösségek gazdagsága ennyire egyértelmű pozitív összefüggést mutat az állományok korával, minden bizonnyal az a tény, hogy az idő előrehaladtával az erdőben egyre több lomb, kéregfelület, termések, biomassza, vagyis táplálkozóhely és táplálék van jelen, ami miatt az erdő a már korábban is jelen levő erdei madárfajokat is nagyobb egyedszámban képes eltartani (Lencinas et al. 2008; Bereczki et al. 2014).

E három, az erdei madarak számára kiemelkedően fontos jellemző mellett létezik még néhány szerkezeti jellemző, amelyek ismereteink szerint fontosak egy-két madárfaj számára, de a teljes erdei madárközösségre nézve hatásuk nem olyan számottevő. Például néhány talaj közelben költő madárfaj (például az ökörszem – *Troglodytes troglodytes*) számára a kidőlt fák gyökértányérjai fontos költőhelynek számítanak (Wesołowski 1983). Az is nagyon valószínű, hogy vannak az erdőnek további olyan, kevésbé látványos, finomabb szerkezeti jellemzői, amelyek hatnak a madarakra, de azért nem ismertek, mert számunkra nem, vagy csak nehezen észlelhetők. Illetve az is világos, hogy a madárfajok nem külön-külön reagálnak az erdő szerkezetének egyes elemeire, hanem azok bizonyos kombinációi megfelelőek számukra, mások pedig nem, vagyis az erdő szerkezetének egyes komponensei közötti interakciók is fontosak lehetnek. Például, ahogyan azt korábban már említettem, néhány erdei madárfaj (*Phylloscopus sybilatrix* vagy *Ficedula hypoleuca*) olyan idős állományokat kedvel, amelyeknek nincsen jelentős cserjeszintje (Fuller 1995), a barátcinege (*Poecile palustris*) ezzel szemben éppen olyanokat, ahol nagy fák jelenléte mellett egyszerre gazdag cserjeszintet is talál (lásd például Hinsley et al. 2007).

2.2.3. Erdei madárközösségek és a táji környezet között felismert néhány összefüggés

Európa mérsékelt övi lombhullató erdeinek zónájában a táj ember általi befolyásoltsága nagyon hosszú múltra tekint vissza. Eredetileg e területet túlnyomó részben erdő borította (Standovár 2012), mára azonban ezen erdőterületek nagy részének helyét mezőgazdasági területek és emberi települések vették át. Amíg Nyugat-Európában ez az átalakulás jóval régebben, nagyjából a 11. századig megtörtént, addig például Közép-Európa, bár igen nagyok a bizonytalanságok e kérdésben, valószínűleg valamivel később, és fokozatosabban veszítette el erdei többségét (Szabó 2008). Az erdők aránya a 19. század végén volt a legalacsonyabb, azóta inkább lassú növekedés jellemző. E folyamatok eredményeként Európa mérsékelt övi erdeinek zónájában jelenleg 26% körül alakul az erdők

aránya (2000 körüli adat, Spiecker 2003), Magyarországon ez a szám 20,7% (2010-es adat, Standovár 2012). A táj ilyen mértékű átalakulása nyilván alapvető hatással volt az erdei madarakra is, mivel azonban az azok állományainak monitorozását megcélzó legrégebbi programok is csak a 70'-es években indultak Európában (erről részletesebben lásd jelen irodalmi áttekintés 2.1. fejezetét), e folyamatok erdei madarakra gyakorolt hatásairól csak nagyon keveset tudunk. Doktori dolgozatom ugyan elsősorban az erdők minősége és az erdei madárközösségek között fellelhető kapcsolatokkal foglalkozik, azonban a táji környezet nyilvánvaló és számottevő madarakra gyakorolt hatása okán nagyon röviden mégis áttekintek néhány fontosabb ismert táji léptékű jelenséget, amelyek befolyásolják az erdei madarak életét itt, Európában, és természetesen valószínűleg Magyarországon is. E rövid áttekintés már csak azért is indokolt, mivel két, ebben a dolgozatban bemutatott munkámban (lásd 3. és 4. fejezet) én magam is vizsgálom a táji környezet egyes jellemzőinek hatását az erdei madárközösségekre.

Nagyon valószínű, hogy az erdei madarakra legnagyobb hatással maga az élőhely mennyiségének drasztikus csökkenése (élőhelyvesztés) és ezzel összefüggésben annak fragmentálódása, valamint a fragmentumok esetleges izolációja van. E jelenségek a gyakorlatban annyira összefonódnak, hogy külön-külön csak nagyon nehezen vizsgálhatók (Villard & Foppen 2018). Az élőhely (jelen esetben a zárt erdő) arányának csökkenésével érthető módon csökken az erdei madarak egyedszáma, viszont a fajszáma úgyszintén. Utóbbira számos példa akad, néhány angliai esettanulmány található például Fuller (1995, 64. oldal) munkájában. Ez a fajszám-terület összefüggés régóta ismert az ökológiában, és természetesen nem csak a madarak esetében igaz. A közre játszó okok részletes elemzése kissé túlmutat e dolgozat témáján, azok úgyszintén megtalálhatók például Fuller (1995) könyvében, én e helyen éppen csak megemlítem a legfontosabbakat. A madarak esetében több jelenség is hathat egyidejűleg. Nagyobb erdőterület fajszáma egyszerűen nagyobb lehet csupán azért, mivel nagyobb terület esetén több faj élőhelye eshet a mintába. Az összefüggő erdő területének csökkenésével esetleg kiszorulhatnak olyan madárfajok, amelyek nagy, háborítatlan területet igényelnek – Magyarországon például ilyen madárfaj a fekete gólya (*Ciconia nigra*, Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület 2018), bár az is lehetséges, hogy Európában a hosszú emberi hatás miatt e fajok nagy része már jóval régebben visszaszorult (Ford 1987). Végül a kisebb élőhely-maradványban annak is megnő az esélye, hogy egy-egy madárfaj véletlenül kipusztuljon a területről (MacArthur & Wilson 1967).

Az élőhelyek feldarabolódásának, és az ember erdőn belüli erdőgazdálkodási tevékenységének másik következménye az eltérő élőhelyek közötti szegélyek mennyiségének növekedése, amely szintén hatással van az erdei madarakra (Andrén & Anglestam 1988; McCollin 1998; Terraube et al. 2016), bár, az élőhelyvesztéssel ellentétben, e hatás előjele sokkal kevésbé egyértelmű. A szegélyek hatását azért is nehéz megítélni, mivel úgy tűnik, a madarak sok esetben a fás-fátlan élőhelyek határán a nagyobb fénymennyiség miatt sűrűbbé váló vegetációra reagálnak inkább, mint magának a szegélynek a létére (Villard 1998; Imbeau et al. 2003). Ennek megfelelően az ilyen jellegű szegélyeken nagyobb sűrűségben találjuk azokat az erdei fajokat (például rigókat, poszátákat), amelyek kedvelik a sűrű gye- és cserjeszinttel rendelkező állományokat. Emellett azonban ezeken az élőhelyeken olyan fajok is megjelenhetnek (például Magyarországon ilyen a fülemüle – *Luscinia megarhynchos*, a seregély – *Sturnus vulgaris*, illetve sok esetben a nagy testű ragadozó madarak, egyes varjúfélék), amelyek a zárt erdőben nem jellemzőek (Tomiałojć & Wesolowski 1990). E fajok gyakran a környező nyílt területeken táplálkoznak, miközben az erdőben találnak költőhelyet maguknak. E jelenségek eredőjeként a kisebb erdőfragmentumok egységnyi területre vetítve jellemzően több madárnak adnak otthont, mint a nagy érintetlen erdőségek (Nilsson 1986; Ford 1987). Továbbá létezik némi bizonyíték arra vonatkozóan is, hogy a széleken egyes esetekben nőhet a predációs nyomás, ezzel összefüggésben kimutathatóan csökkenhet a költési siker (Poulin & Villard 2011). Ahogyan azt Villard és Foppen (2018) is megjegyzik, az, hogy a szegélyek jelenléte végül összességében milyen hatással van az erdei madarakra, több tényező (például az erdő körüli mátrix jellege és az aktuálisan jelen levő ragadozók) eredőjén múlik, így esetről esetre eltérően alakulhat.

Végül az ember térhódításának szintén kimutatható hatása az erdei madárfajok állományaira nézve, hogy az általunk létrehozott urbán területek, például parkok, kertek és útszéli fasorok élőhelyül szolgálhatnak számos erdei madárnak. Az erdei madárfajok egy része látszólag sikeresen alkalmazkodott az ember közelségéhez, és profitál az egymáshoz közel található eltérő élőhely-foltok egyidejű jelenlétéből. Érdekes módon úgy tűnik, hogy Európa egyes országaiban kissé más-más fajok urbanizálódtak idáig, szinte évről évre újabb fajok hódítják meg az emberi településeket – ahogy azt például az elmúlt években megfigyelhettük Magyarországon a korábban erdei életmódot folytató szajkó (*Garrulus glandarius*) esetében. Az MMM program adatai is megerősítik, hogy Magyarországon is számos, eredendően erdei madárfaj, mint például a balkáni fakopáncs (*Dendrocopos syriacus*), az erdei pinty (*Fringilla coelebs*), a széncinege (*Parus major*), a feketeterítő (*Turdus merula*) találja meg életfeltételeit az ember közelségében is (Szép et al. 2012). A feketeterítő

esetében pedig egyenesen úgy tűnik, mintha a faj egyedei sikeresebbek lennének az emberi környezetben, mint eredeti élőhelyükön, mivel urbán élőhelyeiken nagyobb sűrűségben fordulnak elő (Snow 1958), és kevésbé hajlamosak vonulásra is, így a hosszabb költésre alkalmas időszak miatt megnőhet a reprodukciós sikerük (Partecke & Gwinner 2007). Az urbán élőhelyek azért is fontosak lehetnek az erdei madarak populációi számára, mivel számos állandó erdei madár telel a kevésbé hideg emberközeli élőhelyeken, így vészelve át az év legnehezebb időszakát (Fuller 1995).

2.3. Erdei madárközösségek és környezetük összefüggései Magyarországon

Hazánkban az erdei madárközösségek és az erdei környezet összefüggéseivel nem túl sok kutatás foglalkozott idáig, ezek eredményeit és főbb tanulságait szeretném bemutatni az alábbiakban. A témában elérhető munkák legnagyobb része Moskát Csaba nevéhez kötődik, rajta kívül Waliczky Zoltánnak és Winkler Dánielnek született néhány publikációja a témában. Több olyan cikk is napvilágot látott az elmúlt bő 30 évben, amelyek (amellett, hogy egy részük a madárközösségek és az erdei környezet minősége közötti kapcsolatokat is vizsgálta) leírják egy-egy hazai erdőtípus jellemző madárközösségét. Moskát (1988) munkája idős másodlagos pilisi bükkösök, Moskát et al. (1988) munkája idős másodlagos pilisi bükkösök és tölgyesek madárvilágát jellemzi. Moskát et al. (1988) munkájából kitűnik, hogy ezen idős másodlagos erdőtípusok madárközösségei alapvetően eléggé hasonlítanak egymásra, különbséget pedig – az európai mérsékelt övi tapasztalatokkal egybecsengő módon (Tomiałojć & Wesołowski 2004; Fuller et al. 2007) - elsősorban néhány ritkább madárfaj előfordulásában találunk (mind a tölgyesek, mind a bükkösön esetében volt néhány madárfaj, amely csak az adott erdőtípusban fordult elő). Több hazai cikk vizsgálta egy-egy jellemző erdőtípus másodlagos szukcessziója mentén az erdei madárközösségek alakulását. Moskát és Székely (1989) bükk-hegységbeli bükkös állományok, Waliczky (1991) budai-hegységi tölgyesek, Winkler (2005) pedig soproni-hegységbeli tölgyes és lucos állományok különböző korú állományainak jellemző madárközösségeit hasonlította össze. E munkák, egymással is összecsengő módon, megerősítik a hasonló európai vizsgálatokból kirajzolódó jellemző képet (az Európa mérsékelt övi főbb lombhullató erdőtípusai jellemző madárvilágának bemutatását lásd: Wesołowski et al. 2018). A madárközösségek faj- és egyedszáma nagyjából folyamatosan nő a szukcesszió előrehaladtával, bár egyes esetekben megfigyelhető egy kisebb visszaesés az állományok záródása környékén (mivel ilyenkor a cserjés állapothoz kötődő

fajok már, az idősebb erdőkhez kötődő, elsősorban odúlakó madarak pedig még nem fordulnak elő). Amíg a szukcesszió első fázisainak madárközösségei élesen különböznek az idősebb erdők madárvilágától (hiszen a vágásokban megjelenik néhány nyílt területekre jellemző faj, majd az újulat megjelenésével néhány cserjésekhez kötődő generalista faj alkotja a madárközösség zömét), a későbbi fázisokban a madárközösség már sokkal lassabban változik, alapvetően a faj- és egyedszámok lassú növekedése a jellemző. E munkákból – úgyszintén a nemzetközi tapasztalatokkal összeecsengő módon – az is kitűnik, hogy az egyes fő faállománytípusok madárvilága jellemző eltéréseket mutat. A vágásos üzemmódban művelt, ezért egykorú, és meglehetősen egyszerű szerkezetű bükkösök madárvilága faj- és egyedszámát tekintve is szegényesebb az ugyanilyen tölgyesek madárvilágánál (Moskát 1988), ugyanígy a lucosok madárvilága is faj- és egyedszegényebbnek bizonyult a tölgyesekénél (Winkler 2005).

Amíg az erdei madárközösségeket leíró publikációkból akad néhány, amelyek segítségével képet kaphatunk néhány hazai erdőtípus jellemző madárvilágáról, a madárközösségek és az erdők minősége közötti összefüggésekkel e munkák közül is csak kevés foglalkozik. Moskát (1988) vizsgálta néhány – elsősorban az állományok szerkezetét és fafajösszetételét leíró – háttérváltozó és az erdei madárközösség Shannon-diverzitása közötti kapcsolatokat, de nagyon minimális összefüggéseket talált. Ennek – ahogyan azt a szerző is megjegyzi – valószínűleg az lehetett az oka, hogy a vizsgált idős bükkös állományok mind fafajösszetételüket, mind szerkezetüket tekintve meglehetősen homogének voltak. Az elemzésekből emellett az is kitűnt, hogy ebben a helyzetben – az általános vélekedéssel ellentétben – az erdőszerkezet mellett arányaiban a fafajösszetétel hatása is számottevő. Ez összeecseng azzal az általános tapasztalattal, miszerint a madarak számára a fafajösszetétel is számít, csak annak hatását a szerkezet sok esetben elfedi (Fuller 1995, 78. oldal). Moskát és munkatársai (1988) publikációjának célja ugyan elsősorban az idős másodlagos tölgyesek és bükkösök madárközösségeinek leíró jellemzése és összehasonlítása, a szerzők azonban a cserjeszint hatását is értékelték. Úgy találták, hogy a tölgyesek madárközösségeinek faj- és egyedszámai egyaránt magasabbak, és azt feltételezték, hogy ez nagyrészt az előbbiek jobban fejlett cserjeszintjével magyarázható. Mivel – ahogyan ez olyan sokszor előfordul – az erdőszerkezet e paramétere ez esetben szorosan összefügg a fafajösszetétellel, nehéz eldönteni, hogy vajon a madarak melyikre reagálnak. E kérdés megválaszolásához a cserjeszint fejlettsége alapján csoportokba sorolták a tölgyes állományokat, és úgy találták, hogy azok madárközösségeik alapján valóban jól elkülönülnek egymástól. Moskát és Waliczky (1992) tölgyes és bükkös szukcessziós sorok madárvilágának összefüggéseit

próbálták feltárni az állományok néhány jellemzőjével, ehhez becsülték a gyepszint és cserjeszint néhány paraméterét, az állomány záródottságát, a fák méretét és fafajösszetételét. Ebben az esetben az eltérő szukcessziós állapotok nyilvánvalóan nagyon különböző életfeltételeket jelentettek a madárvilág számára, ezért nem meglepő, hogy fontosnak bizonyultak, emellett az elemzésekből ebben az esetben is kitűnt a cserjeszint fontossága (mind a bükkösök, mind a tölgyesek esetében) az erdei madárközösség gazdagságára nézve. Összességében ez a munka is inkább az erdőszerkezet fontosságát emeli ki a fafajösszetétellel szemben.

Végül egy olyan cikkről van tudomásom, amely – különösen izgalmas módon – néhány széles körben elterjedt erdőgazdálkodási beavatkozás hatását vizsgálta az erdei madárközösségek alakulására. Moskát és Fuisz (1992) munkája tölgyes és bükkös állományokban vizsgálta a cserjeszint eltávolításának, a faállomány gyérítésének és a tarvágásnak/véghasználatnak az erdei madárközösségekre gyakorolt hatását. A cserjeszint eltávolítása tölgyes állományokban szignifikánsan alacsonyabb madár egyedszámokat, és kissé (nem szignifikáns hatás) lecsökkent fajszámokat eredményezett, amíg a gyérítés, bár negatívan hatott néhány zárterdei madárfaj előfordulására, összességében növelte az erdei madárközösség faj- és egyedszámát is. A cikk dokumentálja még a tarvágás madárközösségre gyakorolt drámai hatását is, továbbá elemzi számos madárfaj erdőszélhez való viszonyát.

Általában elmondható, hogy e munkák alapján a Kárpát-medence középhegységeinek erdei madárközösségei mind a fent kiemelt jellemvonásaik tekintetében, mind fajösszetételükben, mind élőhelyükre adott reakcióikban, kisebb eltérésekkel jól illeszkednek a hasonló európai mérsékelt övi lombhullató erdők sorába. Ez a megállapítás összecseng azzal a tapasztalattal, miszerint ebben a zónában mind finomabb (Tomiałojć et al. 1984; Wesołowski et al. 2006), mind durvább térléptékben (Fuller et al. 2007) vizsgálva az erdők madárvilága nagyon nagy hasonlóságokat mutat: gyakori fajaik, illetve a közösség szerkezete igen hasonló, eltéréseket leginkább, az eltérő helyi fajkészlet miatt, a ritkább fajokban találunk.

3. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése táji léptékben a CORINE felszínborítási adatbázis alapján

E fejezet a „Modelling forest bird community richness using CORINE land cover data: a study at the landscape scale in Hungary” című publikációm alapján íródott: Mag, Zs., Szép, T., Nagy, K. & Standovár, T. (2011). Community Ecology, 12(2): 241-248.

3.1. Célkitűzések

Az utóbbi években széles körben elérhetővé vált, távérzékelési módszereken alapuló felszínborítási térképek számos új lehetőséget rejtenek az ökológus számára, hiszen nagy területek vegetációjáról nyújtanak meglehetősen pontos, friss és részletes adatokat. Ebben a munkámban azt vizsgáltam meg, hogy a talán legszélesebb körben elérhető, és legelterjedtebben használt CORINE Felszínborítási Adatbázis mennyire alkalmas eszköz az erdei madárközösség gazdagságának előrejelzésére táji léptékben. Még pontosabban a következő kérdésekre kerestem a választ:

1. Milyen mértékben alkalmasak a CORINE Felszínborítási Adatbázisból kinyerhető egyszerű, a táj összetételére vonatkozó információk az erdei madárközösségek faj- és egyedszámának, illetve egyes (vonulási típuson, fészkelési helyen és gyakoriságon alapuló) funkcionális csoportok faj- és egyedszámának előrejelzésére?
2. Az erdei madárközösség vizsgált csoportjai pontosabban hogyan reagálnak a táj összetételének változására? A talált mintázatok jobb megértése érdekében megvizsgáltuk azt is, hogy a vizsgált funkcionális csoportok milyen összefüggést mutatnak az erdei madarak össz fajszámával.

3.2. Anyag és módszer

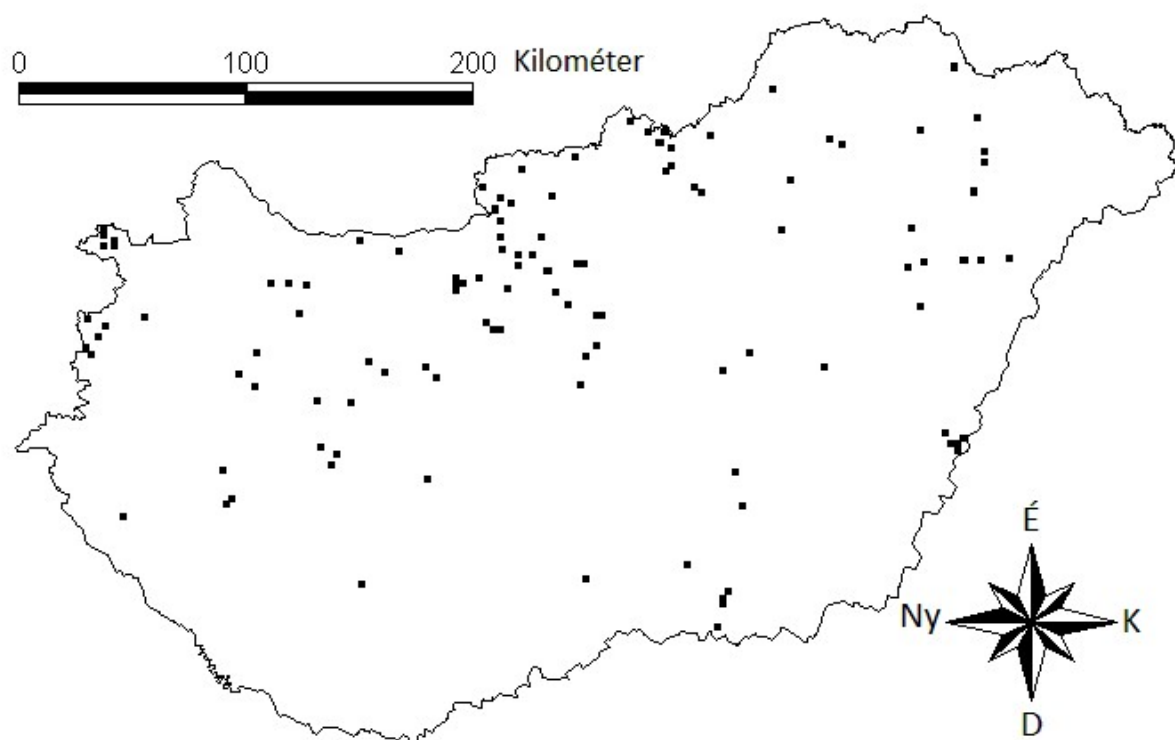
3.2.1. Mintaterületek

A vizsgálatba bevont mintaterületeket a madár mintavétel (Mindennapi Madaraink Monitoringja program, lásd 3.2.2. fejezet) mintaterületei alapján jelöltük ki. Az adatgyűjtés az egész országot lefedő 2,5 km x 2,5 km-es UTM (Universal Transversal Mercator-Projection) négyzetekből véletlenszerűen kiválasztottakban zajlott. Vizsgálatunkhoz azokat a négyzeteket választottuk ki, amelyekben legalább egy teljes madárfelmérés történt 1999 és 2001 között, és a négyzet önkéntes felmérője biztosan felismerte az összes elemzésünkben szereplő zárterdei madárfajt. Azok közül az UTM négyzetek közül, amelyek teljesítették ezeket a kritériumokat, kizártuk azokat, amelyekben egyáltalán nem volt erdő. Ezeknek a feltételeknek 112 UTM négyzet felelt meg, így az elemzéseket egységesen ezekkel végeztük, elhelyezkedésüket az 1. ábra mutatja. Mintaterületeinken belül az egyes felszínborítási típusok (például erdők, mezőgazdasági területek, gyepek) átlagos aránya hasonlóan alakult az országos átlagokhoz, egy kivétellel: az erdős területek aránya négyzeteinkben számottevően magasabb (Átlag: 32,9%, Intervallum: 0,6%-98,5%) az országos átlagnál (20,7%, Standovár 2012), az erdőtlen UTM-négyzetek szisztematikus kizárása miatt.

3.2.2. Madár adatok

Az elemzésekhez a Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület Monitoring Központja által működtetett Mindennapi Madaraink Monitoringja (továbbiakban a program hivatalos rövidítésével élve: MMM) program madár adatait használtam. E program célja a közepesen gyakori-gyakori madárfajok állományváltozásainak hosszú távú nyomon követése. Az adatokat önkéntes madarászok szolgáltatják, a programban felmérőként én is részt veszek. Az ebben a kutatásban használt madár-adatok 1999, 2000 és 2001 évekből származnak. A madarak felmérése az UTM négyzeteken belül minden évben ugyanazon a 15, pszeudoszisztematikus kiválasztott ponton történik a költési időszakban két alkalommal, reggel 5 és 10 óra között, olyan napon, amikor eső nem esik, és komolyabb szél (Beaufort-skálán nagyobb, mint 3) nem fúj. Az első számlálásra április 15 és május 10, a másodikra pedig május 11 és június 10 között kerül sor oly módon, hogy a két felmérés között legalább két hét teljen el. A programban használt madárszámlálási módszer egyfajta pontszámlálás

1. ábra. Az elemzésünkben szereplő 112 UTM négyzet elhelyezkedése Magyarországon.



(Moskát 1987; Gregory et al. 2004), amely során a felmérő a ponton állva 5 perc alatt négy kategóriában (0-50 m között észlelt, 50-100 m között észlelt, 100 m-en kívül észlelt, átrepült) rögzíti a látott és hallott madarakat. Mi ebbe a vizsgálatba a felmérők által a pont 100 m sugarú körén belül észlelt madarakat vontuk be. Az egyenletes adatminőség érdekében minden évben minden felmérő nyilatkozik arról, hogy mely fajokat ismeri fel biztosan látvány alapján, illetve hangról. Mi elemzésünk során csak azoknak az UTM-négyzeteknek az adatait használtuk fel, amelyek felmérője a felmérés évében mind a 21, általunk vizsgált erdei madárfajról úgy nyilatkozott, hogy látás, és hallás után egyaránt biztosan felismeri őket. Utóbbi megkötésre azért volt szükség, mivel erdei körülmények között a madarak igen nagy része csak hallás alapján észlelhető. A program protokolljának részletesebb leírását (például az UTM-négyzetek kiválasztása, UTM-négyzeten belül a 15 mintapont kiválasztása, felmérés protokolljának egyéb részletei) Szép & Gibbons (2000) cikke közli. Egyazon évben belül a két felmérés adatait úgy összegeztük, hogy a két megfigyelés közül minden esetben a nagyobb egyedszámot vettük figyelembe. UTM-négyzeteink egy részében egy, más részében kettő vagy három évben történt felmérés. Azokban az UTM-négyzetekben, ahol több évben is történt felmérés, minden mintaponton minden madárfaj esetében átlagoltuk az egyes évek

egyedszámait, ilyen módon javítva adataink jóságát, egyben elkerülve a többször felmért négyzetek madár egyedszámainak felülbecslését. Végül minden egyes madárfaj esetében összeadtuk a 15 pont észleléseit, így adataink UTM-szinten jellemzik azok madárvilágát.

E kutatás során az erdei madárközösségeket szeretnénk volna vizsgálni, ezért az elemzésekhez azokat az erdei madárfajokat választottuk ki, amelyek a hazai adatok alapján (MME/Birdlife Hungary 2018) zömmel zárt lombdőkben költenek és táplálkoznak. Ezek közül kizártuk a hegyvidéki fajokat (mivel ezek nálunk csak elvétve fordulnak elő), illetve minden nagyon ritka erdei fajt (amelyek becsült hazai állománya kisebb, mint 5000 költőpár, MME/Birdlife Hungary 2018), egyszerűen azért, mert az MMM program nem igazán alkalmas az ennyire ritka fajok mennyiségeinek becslésére. A ragadozó madarakat és varjúféléket úgyszintén kizártuk az elemzésből, mivel azoknak körülbelül egy nagyságrenddel nagyobb territóriumuk van, mint a többi vizsgálatba bevont erdei madárfajnak. Ezeknek a kritériumoknak 21 madárfaj felelt meg (lásd 2. táblázat), így az elemzéseket egységesen ezek adataival végeztük.

Célunk az erdei madarak közösségi szintű vizsgálata volt, ezért megpróbáltunk néhány olyan változót kiszámolni az elemzésbe vont madárfajok egyedszámaiból, amelyekkel sokoldalúan tudjuk jellemezni az UTM-ek erdei madárvilágát. Ennek érdekében kiszámoltuk az erdei madarak összes faj- és egyedszámát, illetve az erdei madarak általunk értelmesnek talált kilenc funkcionális csoportjának faj-, illetve egyedszámait. E kilenc csoport a vizsgált madárfajok három szempont szerinti csoportosításából származik: fészkelési típus, vonulási típus, gyakoriság. A fészkelési és vonulási típusok szerinti csoportosításhoz szükséges ökológiai információk összegyűjtéséhez Fuller (1995) munkáját vettük alapul, amit szükség esetén módosítottunk a fajokról meglevő hazai tudással (MME/Birdlife Hungary 2018). Az erdei madarak fészkelési hely alapján történő csoportosítása azért lehet érdekes, mert az alkalmas fészkelőhely hiánya sok esetben komoly korlátja a fajok elterjedésének, igaz lehet ez akár a harkályok, akár a másodlagos odúlakók, akár az erdők alacsonyabb szintjein költő fajok esetében. A vonulási típus szerinti csoportosítás pedig azért különösen aktuális napjainkban, mivel az éghajlatváltozás miatt számos hosszútávú vonuló madárfaj állományai csökkennek világszerte, illetve életmódjukból adódóan állományaik sokszor sérülékenyek, sok faj közülük pedig relatíve ritka (lásd pl. (Robbins S. et al. 1993; Sanderson et al. 2006). Harmadik csoportosítási szempontunk azonban mesterséges: a gyakoriság alapján történő csoportosításkor 100 000 költőpár küszöbértéknél nagyobb hazai állományú fajokat (MME/Birdlife Hungary 2018) tekintettük gyakorinak, az ennél kisebb állományú fajokat pedig ritkának. Szeretném még egyszer kiemelni, hogy a nagyon ritka madárfajokat kizártuk

az elemzésből (hazai állomány < 5000 költőpár), így ez az elkülönítés a vizsgált közepesen gyakori-gyakori madárfajok között relatíve ritkább (hazai állomány < 100 000 költőpár), illetve gyakoribb (hazai állomány > 100 000 költőpár) fajokat különíti el. Úgy találtam, hogy ez az érték elég jól elválasztja egymástól a generalista, kevésbé érzékeny és a specialista, sérülékenyebb erdei madárfajokat. A 21 vizsgált madárfaj funkcionális csoportokba való besorolásait úgyszintén az 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A 21, vizsgálatba bevont madárfaj listája és csoportokba való besorolásai. A gyakoriság alapú csoportosítás a becsült hazai állomány alapján történt (ritka < 100 000 költőpár, gyakori: > 100 000 költőpár).

	Latin név	Vonulási típus	Fészkelési típus	Gyakoriság
Kék galamb	<i>Columba oenas</i>	Rövidtávú vonuló	Másodlagos odúlakó	Ritka
Zöld küllő	<i>Picus viridis</i>	Állandó	Elsődleges odúlakó	Ritka
Fekete harkály	<i>Dryocopus martius</i>	Állandó	Elsődleges odúlakó	Ritka
Nagy fakopáncs	<i>Dendrocopos major</i>	Állandó	Elsődleges odúlakó	Gyakori
Közép fakopáncs	<i>Leipicus medius</i>	Állandó	Elsődleges odúlakó	Ritka
Kis fakopáncs	<i>Dryobates minor</i>	Állandó	Elsődleges odúlakó	Ritka
Ökörszem	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Állandó	Talajon költő	Ritka
Vörösbegy	<i>Erithacus rubecula</i>	Rövidtávú vonuló	Talajon költő	Gyakori
Feketerigó	<i>Turdus merula</i>	Állandó	Lombkoronában költő	Gyakori
Énekes rigó	<i>Turdus philomelos</i>	Rövidtávú vonuló	Lombkoronában költő	Gyakori
Sisegő füzike	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	Hosszútávú vonuló	Talajon költő	Ritka
Csilpcsalpfüzike	<i>Phylloscopus collybita</i>	Rövidtávú vonuló	Talajon költő	Gyakori
Fitiszfüzike	<i>Phylloscopus trochilus</i>	Hosszútávú vonuló	Talajon költő	Ritka
Örvös légykapó	<i>Ficedula albicollis</i>	Hosszútávú vonuló	Másodlagos odúlakó	Ritka
Barátcinege	<i>Poecile palustris</i>	Állandó	Másodlagos odúlakó	Ritka
Kék cinege	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Állandó	Másodlagos odúlakó	Gyakori
Széncinege	<i>Parus major</i>	Állandó	Másodlagos odúlakó	Gyakori
Csuszka	<i>Sitta europaea</i>	Állandó	Másodlagos odúlakó	Gyakori
Rövidkarmú fakusz	<i>Certhia brachydactyla</i>	Állandó	Másodlagos odúlakó	Ritka
Erdei pinty	<i>Fringilla coelebs</i>	Rövidtávú vonuló	Lombkoronában költő	Gyakori
Meggyvágó	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	Rövidtávú vonuló	Lombkoronában költő	Gyakori

3.2.3. Felszínborítási adatok

Háttérváltozóinkat a szabadon hozzáférhető CORINE 2000 Felszínborítási Adatbázisból (CEC 1994; EEA 2000) származtattuk. E térkép léptéke 1:100 000, ilyen módon bőségesen elegendő felbontással rendelkezik a 2,5 km x 2,5 km-es négyzeteink jellemzéséhez. Szerencsés körülmény az is, hogy ez az adatbázis 2000 körüli fényképeken alapul, ilyen módon igen jól illeszkedik madáradatainkhoz. A CORINE felszínborítási térkép három hierarchikusan egymásba ágyazott szinten 44 kategóriát alkalmaz, mi ezeket úgy vontuk össze néhány általunk kijelölt kategóriába, hogy a lehető legjobban jellemezzék a tájat a mi szempontunkból. Az erdei madarak számára leginkább fontos erdőknek három kategóriáját különíti el a CORINE: tűlevelű, kevert és lomberdőt. Mivel a négyzeteinkben található erdők túlnyomó többsége lomberdő, mi e három kategóriát erdő néven összevonva kezeltük.

A nem erdős tájtypusokat négy csoportba soroltuk, megkülönböztetve mezőgazdasági és urbán területeket, gyepeket, az e kategóriák közé be nem sorolható területeket pedig egyéb néven vontuk össze. Így végül UTM-négyzeteinkben a táj összetételét az erdei madarak szempontjából talán legjobban jellemző öt felszínborítási kategória (erdők, mezőgazdasági területek, urbán területek, gyepek és egyéb területek) százalékos arányaival fejeztük ki.

3.2.4. Adatelemzés

Mivel e munka során viszonylag kevés háttérváltozó hatását teszteltem függő változóinkon, és ezeken belül is viszonylag kevés, robusztus összefüggést vártam, ezen összefüggések feltárására az általános lineáris modellezés (general linear models, Faraway 2005, 2006; Everitt & Hothorn 2006) módszerét választottam. Mivel azt feltételeztem, hogy legfontosabb háttérváltozónk (erdők aránya) sok esetben nem lineáris összefüggést fog mutatni az erdei madárközösség egyes jellemzőivel, előzetesen teszteltem, hogy négy egyszerű függvény-típusból (lineáris, exponenciális, logaritmikus és hatvány-függvény) melyik illeszkedik legjobban (legkisebb eltérés-négyzetösszeg) adatainkhoz. Ezek után a kapott összefüggés alapján úgy transzformáltam az adatokat, hogy a kapott összefüggés minél jobban hasonlítson a lineárishoz. Az alkalmazott transzformációkat minden vizsgált madárközösség-változó esetében a 3. táblázatban közlöm. Azoknál a függő változóknál, ahol transzformációra volt szükség, az összes vizsgált háttérváltozót ugyanúgy transzformáltam.

A modellszelekció során a háttérváltozók egyenkénti eltávolításának módszerét (backward selection) alkalmaztam, amely során mindig a legkisebb hatású háttérváltozót

távolítottam el a modellből ameddig ez lehetséges volt. Az alternatív modellek közötti választás AIC pontok (Akaike Információs Kritérium, Akaike 1973; Burnham & Anderson 1992) segítségével történt. Vizsgált háttérváltozóink közül három (mezőgazdasági területek, gyepek és egyéb területek aránya) az erdősültséggel mutatott összefüggésük kiszűrése után nem mutatott szignifikáns korrelációt ($p > 0,05$) egyik általunk vizsgált madárközösség-változóval sem, ami nagyban egyszerűsítette a modellszelekció menetét. Az a kettő háttérváltozó pedig, amelyek hatással voltak az erdei madárközösségekre (erdők és urbán területek aránya) egymással szintén nem korreláltak. A függvényillesztésekhez és az általános lineáris modellek építéséhez egyaránt az R program 2.10.1-es verzióját (The R Foundation for Statistical Computing 2009) használtam.

A függő változóink közötti kapcsolatok jobb megértéséhez koordináta rendszerben ábrázoltam néhány madárközösség változó és a madárközösség fajszáma közötti kapcsolatokat, amihez úgyszintén az R programot használtam.

3.3. Eredmények

3.3.1. Táji környezet hatása az erdei madárközösségek gazdagságára

Az erdei madárközösség változói és a táji környezet összetétele közötti kapcsolatokat feltáró általános lineáris modellek részleteit a 3. táblázat tartalmazza. Eredményeim alapján a táji környezet összetétele egyértelműen hatással van az ott előforduló erdei madárközösségekre. Az egyes vizsgált madárközösség-változók esetében azonban a modellek magyarázó-ereje erősen eltér, 30-60% között alakul. A fajszám jellegű madárközösség-változók összességében kicsit rosszabbul modellezhetőnek bizonyultak az egyedszám jellegű változókhoz képest. Általában a zömmel gyakori fajokat tartalmazó madár-csoportok faj- és egyedszámait sokkal jobban magyarázták a táji környezetet jellemző egyszerű változók, mint a több sérülékeny, ritka madárfajt tartalmazó csoportokéit. Például háttérváltozóink segítségével sokkal kevésbé sikerült jól modellezni a több érzékeny madárfajt tartalmazó elsődleges odúlakók fajszámát, mint a számos gyakori fajt tartalmazó másodlagos odúlakók fajszámát (modellek módosított eltérés-négyzetösszege rendre 0,270, illetve 0,573). Ahogyan az a 3. táblázatból kiolvasható, hasonló jelenség figyelhető meg a hosszútávú vonulók sérülékeny csoportja és a rövidtávú vonulók esetében, vagy a ritka és gyakori fajok mesterségesen képzett csoportjainál is.

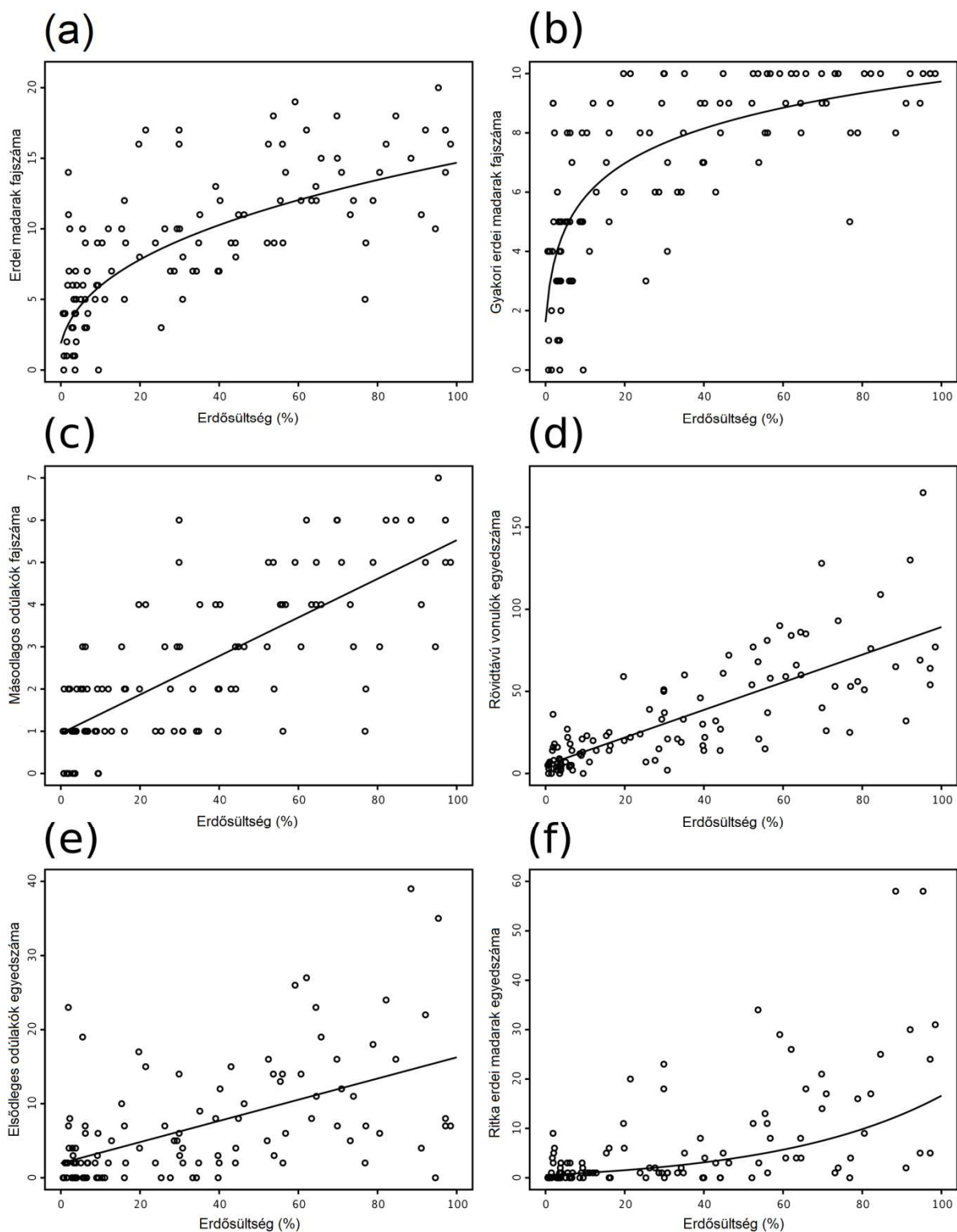
3. táblázat. Általános lineáris modellek, avagy az erdei madárközösség faj- és egyedszámainak kapcsolata a táji környezet összetételével. A táblázatban rendre a modell típusa, modell által lefedett összes variancia (módosított determinációs együttható= R^2), illetve a modellben szereplő egyes háttérváltozók által magyarázott variancia látható. A modell típusa oszlop azt mutatja meg, hogy milyen transzformációt végeztem a kapcsolatok linearizálása érdekében: lineáris (-/-), logaritmikus (-/ln), exponenciális (ln/-), hatvány (ln/ln) (minden esetben először a függő változón, utána pedig a háttérváltozón végzett transzformáció típusát adtam meg). EA: Erdők aránya; UTA: Urbán területek aránya. Modellben szereplő háttérváltozók szignifikancia-szintje (F-teszt): *** – $p < 0,001$; ** – $p < 0,01$; * – $p < 0,05$; · – $p < 0,1$. ^a Minden esetben, amikor adatainkhoz legjobban a hatványfüggvény illeszkedett, annak kitevője kisebb volt egynél. ^b Ebben a kettő esetben a legjobb illeszkedést egy olyan hatványfüggvény mutatta, aminek kitevője nagyon közel volt az egyhez, az összefüggés szinte lineáris.

Madárcsoport	Modell típusa	Módosított determinációs együttható (%)	Háttérváltozó által magyarázott variancia (%)	
			EA	UTA
Általános lineáris modellek fajszámokra:				
Összes erdei madár	hatvány ^a	50,3	49,3***	1,8*
Hosszútávú vonulók	lineáris	26,7	27,4***	-
Rövidtávú vonulók	hatvány ^a	43,3	43,2***	1,1
Állandó fajok	hatvány ^a	48,1	47,3***	1,7*
Elsődleges odúlakók	hatvány ^a	27,0	27,7***	-
Másodlagos odúlakók	lineáris	57,3	57,77***	-
Talajon költők	hatvány ^a	38,5	39,1***	-
Lombkoronában költők	logaritmikus	38,7	38,0***	1,9*
Ritka fajok	lineáris	36,2	36,8***	-
Gyakori fajok	logaritmikus	56,2	56,2***	0,8
Általános lineáris modellek egyedszámokra:				
Összes erdei madár	lineáris	51,8	51,6***	1,0
Hosszútávú vonulók	exponenciális	31,3	32,0***	-
Rövidtávú vonulók	lineáris	60,9	61,3***	-
Állandó fajok	hatvány ^{a,b}	47,6	42,6***	7,4***
Elsődleges odúlakók	lineáris	29,4	30,1***	-
Másodlagos odúlakók	hatvány ^{a,b}	50,8	50,7***	1,0
Talajon költők	lineáris	52,3	52,7***	-
Lombkoronában költők	lineáris	50,8	48,1***	3,7**
Ritka fajok	exponenciális	38,9	39,5***	-
Gyakori fajok	lineáris	51,3	50,8***	1,4*

Háttérváltozóink közül az erdei madárközösségek gazdagságára a legerőteljesebb pozitív hatása az erdők arányának volt. Ez a háttérváltozó a modellek variancia-lefedésének 90-100%-áért felelt. Ezen kívül az urbán területek arányának találtuk még úgyszintén pozitív, bár sokkal gyengébb hatását az erdei madárközösség egyes, elsősorban gyakoribb fajokat tömörítő csoportjainak faj- és egyedszámaira. A táji környezet összetételét kifejező többi változónak (mezőgazdasági területek, gyepek és egyéb területek aránya) nem volt kimutatható hatása az erdei madárközösségek gazdagságának egyik általunk vizsgált változójára sem.

Az elemzések során azt tapasztaltam, hogy az erdei madárközösség faj- és egyedszámai egyaránt függnak az erdők arányától. Azonban a kapcsolatok jellege erősen eltér az egyes funkcionális csoportok esetében, erre mutatok néhány jellemző példát a 2. ábrán. Az erdei madarak legtöbb vizsgált csoportjánál az erdő arányának növekedésével a fajszámok eleinte nőnek, majd a görbe a maximumhoz közelítve telítődik (hatványfüggvény-jellegű összefüggés, lásd pl. az erdei madarak összes fajszámát, 2.a ábra). Ez a jelleg még kifejezettebb azon madárcsoportok fajszámai esetében, amelyek zömmel gyakori madárfajokat tartalmaznak, vagyis ezekben az esetekben a görbe még alacsonyabb erdőaránynál telítődik (logaritmikus görbe, mint például a gyakori madárfajok fajszáma esetében, 2.b ábra). Több olyan madárcsoportnál, amelyek ritkább fajokat is tartalmaznak, a fajszám gyakorlatilag lineárisan nő az erdősültséggel, vagyis még egészen magas erdősültségek mellett is növekszik (lásd például a másodlagos odúlakók fajszámát, 2.c ábra). A madárközösség abundancia jellegű változóinak nagy része úgyszintén lineárishoz közelítő összefüggést mutat az élőhely arányával, azonban a kapcsolat erőssége szélsőségesen eltér az egyes csoportoknál: viszonylag szoros a rövidtávú vonulóknál (2.d ábra), azonban sokkal lazább például az elsődleges odúlakóknál (2.e ábra). A ritka fajokat tömörítő madárcsoportoknál pedig már-már exponenciális jellegű az összefüggés, vagyis a fajszám az erdő aránnyal legerősebben éppen magas erdősültségeknél növekszik (például a ritka fajok egyedszáma esetében, lásd 2.f ábra).

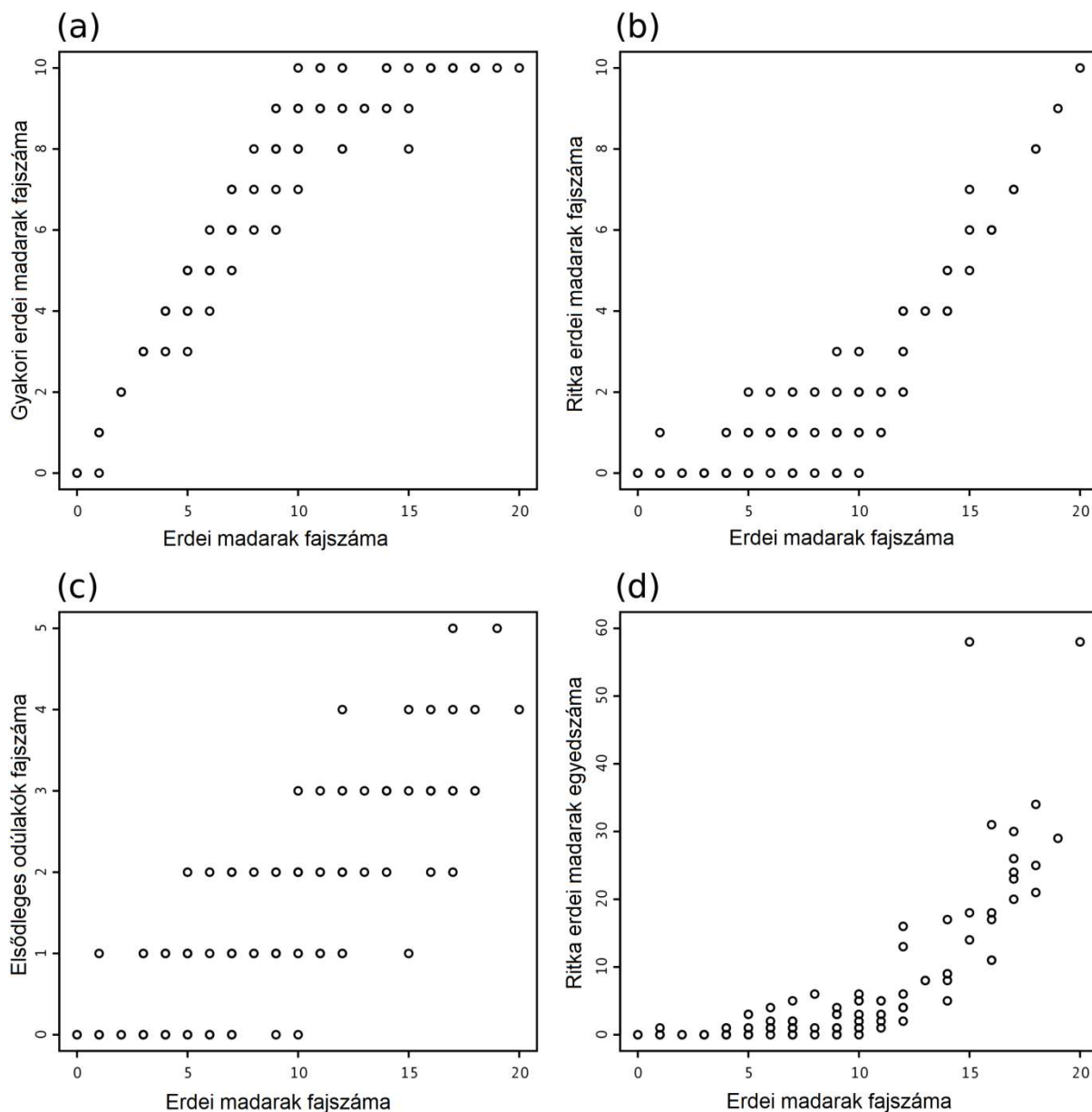
2. ábra. Az erdei madárközösség néhány változójának összefüggése az erdősültséggel (vízszintes tengely). Az ábrák értelmezését segítő, az adatpontok mellett szerepel az azokhoz legjobban illeszkedő függvény-görbe is négy egyszerű típus közül (lineáris, logaritmikus, exponenciális és hatványfüggvény). **(a)** Erdei madarak fajszáma; **(b)** gyakori erdei madarak fajszáma; **(c)** másodlagos odúlakó madarak fajszáma; **(d)** rövidtávú vonuló madarak egyedszáma; **(e)** elsődleges odúlakók egyedszáma; **(f)** ritka erdei madarak egyedszáma.



3.3.2. Erdei madarak fajszámának kapcsolata a madárközösség egyéb változóival

Mivel az elemzések során azt tapasztaltam, hogy az erdei madárközösség vizsgált változói nagyon eltérő módon reagáltak az erdősültség változására, felmerült bennem, hogy megvizsgáljam az erdei madárközösség fajszáma – amely az erdei madárközösség gazdagságának legáltalánosabban használt mérőszáma – és néhány egyéb madárközösség-változó kapcsolatát. A 3. ábrán néhány madárközösség-változó összefüggését ábrázoltam az erdei madárközösség fajszámának függvényében. Tanulságos összevetni például a gyakori, illetve a ritka erdei madárfajok fajszámainak összefüggését az erdei madárközösség összes fajszámával (3.a és 3.b ábrák). Az alacsony fajszámú területeken a jelen levő erdei fajok nagyon nagy része gyakori madárfaj, amíg a magas fajszámú területeken a gyakori fajok fajszáma már szinte állandónak tekinthető. Másik oldalról megvizsgálva a kérdést, a ritka fajok fajszáma magas fajszámú területeken erősen növekszik az összes fajszám növekedésével, azonban alacsony fajszámok esetében szinte egyáltalán nem is korrelál azzal. Eredményeim azt is megmutatták, hogy éppen a sok ritkább, sérülékeny madárfajt tartalmazó csoportok (elsődleges odúlakók és hosszútávú vonulók) fajszámainak a leggyengébb a kapcsolata a madárközösség teljes fajszámával (lásd például 3.c ábra). Például közepes összes fajszám esetén a harkályok összes fajszáma olyannyira nagy szórást mutat, hogy gyakorlatilag bármilyen értékük előfordulhat e tartományban. Továbbá általában igaz, hogy az általam vizsgált funkcionális csoportok egyedszámai sokkal inkább exponenciális jellegű összefüggést mutattak az erdei madárközösség összes fajszámával, és e tendencia különösen kifejezett a ritkább fajokat tartalmazó csoportok esetében (lásd 3.d ábra).

3. ábra. Az erdei madárközösség néhány kiválasztott változójának kapcsolata az erdei madárközösség fajszámával (vízszintes tengely) a 112 vizsgált UTM adatai alapján. **(a)** gyakori erdei madarak fajszáma; **(b)** ritka erdei madarak fajszáma; **(c)** elsődleges odúlakó madarak fajszáma; **(d)** ritka erdei madarak egyedszáma.



3.4. Eredmények megvitatása

3.4.1. CORINE az erdei madárközösség gazdagságának előrejelzőjeként

Elemzéseim alapján úgy találtam, hogy – egyes korábbi kutatásokkal összecsengő módon, lásd például Seonare et al. (2004) – a CORINE-ből származtatott, a táji környezet összetételét leíró egyszerű háttérváltozók csupán korlátozottan alkalmasak az erdei madárközösségek

gazdagságának előrejelzésére. E jelenség egyik fő oka valószínűleg az lehet, hogy a táji környezetnek ezek a durva típusai (például erdők, gyepek, agrárterületek) sokkal inkább a potenciális, mint a valódi élőhelyeit jelölik ki az egyes madárfajoknak, hiszen semmit nem árulnak el az adott élőhely pontosabb jellegéről és minőségéről. E jelenségre mutatnak némi közvetett bizonyítékot azok a vizsgálatok, amelyek egy-egy terület teljes madár fajszámát próbálták modellezni a táji környezet összetételét leíró egyszerű háttérváltozókkal. Az ilyen munkákban gyakran a táji összetétel heterogenitása a madarak összes fajszámát legjobban jósló háttérváltozó (Pino et al. 2000; Jiguet et al. 2005; Mitchell et al. 2006). Ennek pedig elsősorban az lehet az oka, hogy a felszínborítási típusok számának növekedése érthető módon újabb és újabb, azokra jellemző gyakori fajok megjelenésén keresztül növeli az összes fajszámot. Mivel azonban a felszínborítási térképek gyakorlatilag nem nyújtanak információt az egyes élőhely-típusok minőségéről, önmagában ezek mennyisége csak korlátozottan alkalmas az egy bizonyos élőhelyhez kötődő madárközösségek gazdagságának előrejelzésére.

Éppen ezért az ilyen jellegű felszínborítási adatbázisok – ahogyan az a jelen munkában bemutatott eredményekből is látszik – sokkal inkább alkalmasak a gyakori fajok előfordulásának modellezésére, amelyek nagyobb arányban töltik ki a potenciális élőhelyül szolgáló felszínborítási típust. Itt szeretném ismét kiemelni, hogy az e munka alapjául szolgáló madár adatbázis már eleve elsősorban a gyakori-közepesen gyakori madarak állományainak nyomon követését célozza meg, a mintavételi elrendezés e fajok állományainak nyomon követésére optimalizált (Szép et al. 2012). Egyrészt a random mintavételi elrendezés nem alkalmas arra, hogy elég jól megmintázza a ritkább fajok relatíve kis élőhelyfoltjait, másrészt e fajokat általában kisebb arányban ismerik fel az önkéntes felmérők, így csökken a rendelkezésre álló adatmennyiség, illetve nő e fajok adatainak bizonytalansága. Ezért elképzelhető, hogy modelljeink kisebb magyarázó ereje a ritkább fajokat tartalmazó csoportok esetében részben a rosszabb adatminőségnek tudható be. Az MMM adatbázis másik, ebből a szempontból lényeges jellemvonása, hogy egyáltalán nem tartalmaz adatokat a legritkább madárfajokról. Nagyon valószínű, hogy, amennyiben e fajokról is rendelkezünk adatokkal, és ezeket bevonva próbálnám elemezni az erdei madárközösségek gazdagságát a CORINE felszínborítási adatbázis segítségével, a modellek még kevésbé lennének sikeresek.

Összegezve, elemzéseim alapján úgy tűnik, hogy a CORINE felszínborítási adatbázis leginkább a gyakori erdei madarak faj- és egyedszámainak modellezésekor sikeres, hiszen az e fajokat tartalmazó csoportok sokkal kevésbé függenek élőhelyeik minőségétől, mint a ritkább, érzékenyebb erdei madarak csoportjai.

3.4.2. Erdei madarak egyes csoportjainak kapcsolata a táji környezet összetételével

Az erdei madárközösség faj- és egyedszámai egyaránt pozitív kapcsolatokat mutattak az erdősültséggel, de e változó magyarázó ereje igen különbözőnek bizonyult az egyes vizsgált madárcsoportok esetében. Ahogyan arról az előző fejezetben már említettem, a különbségek hátterében elsősorban az állhat, hogy az erdei madarak vizsgált csoportjai igen különböző igényeket támasztanak élőhelyük minőségével kapcsolatban. Az erdősültség meghatározó szerepe mellett úgy tűnik, az erdei madarak egyes csoportjai számára az urban területek aránya is kimutatható pozitív hatással bír. E hatás könnyen érthető, ha az emberi települések parkjaiban, kertjeiben előforduló nagy fákra gondolunk, amelyek sok esetben alkalmas élőhelyül szolgálhatnak erdei fajoknak is (Melles et al. 2003; Fernandez-Juricic 2004). További előnye az emberi településeknek, hogy sokkal kedvezőbb körülményeket biztosítanak télen, amely az erdei madarak számára az év legnehezebb időszaka (Wesołowski et al. 2018). Mindezek ellenére, az erdei madárközösségnek még azon csoportjai esetében is, amelyekre kimutatható hatással van az urban területek aránya, ez a hatás igen csekély.

Modelljeim alapján úgy tűnik, hogy az élőhelyet körülvevő mátrix jellegének nincs kimutatható hatása az erdei madárközösségek gazdagságára. Brotons et al. (2003) a mienknél jóval nagyobb erdősültségű finn tájban szintén úgy találták, hogy az erdőt körülvevő táj összetételének csak elenyésző hatása van az erdei madarakra nézve, bár az kérdéses, hogy az ő eredményeik mennyire alkalmazhatók a mi, meglehetősen különböző körülményeink között. Az általam vizsgált zárterdei madárfajok közös jellemzője, hogy életterük elég szigorúan az erdőre korlátozódik, itt táplálkoznak, és itt találhatóak fészkeik is. Mindezek mellett azonban az erdők szomszédságában található egyéb élőhelyeknek természetesen van hatása a tájban előforduló madarakra. Egyrészt az újabb élőhelyekkel megjelennek a rájuk jellemző újabb madárfajok is. Másrészt pedig az erdőt körülvevő mátrix jellege kihathat az olyan madárfajok jelenlétére, amelyek mind az erdőt, mind az azt körülvevő fátlan területet használják. Ilyen fajok például az erdei pityer (*Anthus trivialis*), a citromsármány (*Emberiza citrinella*), vagy éppen a seregély (*Sturnus vulgaris*), amely előszeretettel költ az erdőben, táplálkozni viszont az azt körülvevő nyílt területekre jár (Fuller 1995). E jelenségeket azonban az itt bemutatott modellek nem jelzik, hiszen e munka során kizárólag zárterdei madárfajokkal foglalkoztam.

Modelljeim alapján úgy tűnik, az erdei madárközösség egyes csoportjai esetében a vizsgált változók közül egyaránt az erdősültség a meghatározó háttérváltozó, még ha annak fontossága az egyes csoportok esetében számottevően el is tér. Azonban az erdősültség és a madárközösség egyes változói közötti kapcsolatok jellege még feltűnőbben eltér egymástól. Eredményeim alapján az erdei madárközösség egyes változói szélsőségesen különböző kapcsolatokat mutatnak az erdősültséggel annak egyes tartományain belül, ezért, a talált mintázatok jobb megértése érdekében, megvizsgáltam az erdei madárközösség egyes változóinak egymással való kapcsolatát is. Mivel úgy tűnik, az erdei madárközösség fajsza ma egyáltalán nem korrelál jól és egyenletesen az erdei madárközösség számos egyéb változójával, amikor a táj összetételét kifejező egyszerű változókkal próbáljuk modellezni a csoport gazdagságát, igen óvatosan kell eljárunk az eredmények interpretációjakor. Amíg az ilyen jellegű háttérváltozókkal legjobban az erdei madárközösség összes fajsza ma modellezhető (amely a hasonló munkákban az egyik leggyakrabban vizsgált függő változó), ez a változó, eredményeink alapján, csupán igen mérsékelt kapcsolatot mutat az erdei madárközösség érzékenyebb, élőhely-specialista fajokat is tartalmazó csoportjainak faj- és egyedszámaival. Európán belül több kutatás is foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy találhatunk-e az érzékenyebb erdei specialista madárfajok között olyat, vagy olyanokat, amelyek jó indikátorai a magas faj- és egyedszámú, egészséges erdei madárközösségnek. Mikusiński és munkatársai (2001) úgy találták, hogy a harkályok viszonylag érzékeny csoportja ilyennek számít, Roberge és Angelstam (2006) munkája pedig az igen széles elterjedéssel rendelkező, azonban élőhelyével szemben meglehetősen igényes közép fakopáncsot (*Leiopicus medius*) találták megfelelő jelzőfajnak. Eredményeim alapján úgy tűnik azonban, hogy ez megfordítva nem mondható el, legalábbis az általam vizsgált, meglehetősen nagy térléptékben biztosan nem. Ezért nagyon félrevezető lehet csupán az erdei madárközösség összes fajsza mát használni az erdei madárközösségek gazdagságának egyetlen mérőjeként, hiszen ilyen módon igen keveset tudunk meg az erdei madárközösség gazdagságának egyéb oldalairól, például a természetvédelmi szempontból igen lényeges, érzékenyebb, erdei specialista fajokat tartalmazó csoportokról.

4. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése táji léptékben az Országos Erdőállomány Adattár adatai alapján

4.1. Célkitűzések

Az előző fejezetben bemutatott munkából leszűrhető egyik fő tanulság, hogy a távérzékelési módszereken alapuló, egyszerű felszínborítási térképek, bár viszonylag jól használhatók a gyakori, generalista erdei madarak faj- és egyedszámainak előrejelzésére, alig képesek ugyanerre az érzékenyebb, erdei specialista fajok esetében. Ezért, ha szeretnénk erdőjellemzők segítségével modellezni az erdei madárközösség alakulását (akár időben, akár térben), mindenképpen érdemes olyan háttérváltozó-készletet használni, amely az erdők minőségével kapcsolatos információkat is tartalmaz.

Magyarországon az összes erdőről létező legrészletesebb adatbázis az Országos Erdőállomány Adattár (Tobisch & Kottek 2013), amely erdészek terepi bejárásain alapul, számos információt tartalmaz az állományok fafajösszetételére, koreloszlására és szerkezetére vonatkozóan, ráadásul a gazdálkodás alapjául is szolgál. Mivel az erdei madárközösségek számos esetben mutatnak összefüggéseket (elsősorban nagyobb térléptékben) az élőhelyükül szolgáló erdők éghajlati viszonyaival, például azok tengerszint feletti magasságával (Able & Noon 1976; Newton et al. 1986), vagy éppen ariditásával (Newton et al. 1986), háttérváltozó-készletünket kiegészítettem még néhány egyszerű, éghajlatot jellemző változóval is. E munka során arra voltam kíváncsi, hogy az ebből az adatbázisból kinyerhető erdőminőség-jellemzők mennyire alkalmasak az erdei madárközösség gazdagságának modellezésére. Egészen pontosan az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

1. Az erdei környezet e vizsgálatban szereplő jellemzői (táji környezet összetétele, erdőminőség-jellemzők, éghajlati változók) milyen mértékben alkalmasak az erdei madárközösség gazdagságának (az erdei madarak faj- és egyedszámán túl gyakoriság, vonulási típus és fészkelési hely alapú funkcionális csoportok faj- és egyedszámainak) modellezésére táji léptékben?

2. Az Országos Erdőállomány Adattárból kinyerhető háttérváltozók közül melyek fontosak az erdei madárközösség számára, és milyen jellegűek a feltárt összefüggések? A vizsgált

háttérváltozók esetleg fontosabbak-e az erdei madárközösség egyik, avagy másik csoportja számára?

4.2. Anyag és módszer

4.2.1. Mintaterületek

E vizsgálat a doktori dolgozatom 3. fejezetében bemutatott munka folytatása, az itt bemutatott elemzések egységesen 106 UTM (Universal Transversal Mercator-Projection) négyzet adatainak felhasználásával zajlottak, amelyek részhalmazát képezik a 3. fejezetben bemutatott elemzésekben szereplő 112 UTM négyzetnek. Az elemzésbe vont UTM-négyzetek számbeli eltéréseinek oka, hogy hat UTM-négyzet esetében a CORINE felszínborítási adatbázis alapján az adott mintanégyzetben volt minimális mennyiségű erdő (ezért a 3. fejezetben bemutatott elemzés során használtuk ezek adatait), azonban az Országos Erdőállomány Adattár csak az erdő művelési ágba sorolt területekről rendelkezik adatokkal, a kisebb, önerdősült területekről (pl. felhagyott legelők helyén) nem tartalmaz információt. A mintaterületek elhelyezkedését, kiválasztásának részleteit és jellemzését az olvasó megtalálja doktori dolgozatom 3.2.1. fejezetében.

4.2.2. Madár adatok

E munkám során is a jelen dolgozat 3. fejezetében bemutatott elemzésekhez használt, 1999-2000-2001 évekből származó MMM adatokon alapuló madár-adatbázissal dolgoztunk. Az MMM program részletes bemutatását doktori dolgozatom 3.2.2. fejezete tartalmazza. Úgyszintén a 3. fejezetben bemutatott munkához hasonlóan, ugyanannak a 21, Magyarországon zömmel zárt erdőkhez kötődő, közepesen gyakori-gyakori erdei madárfajnak az adatait használtuk, és ezekből a madárközösség gazdagságának jellemzésére, az erdei madárközösség faj- és egyedszámán kívül, három szemponton (gyakoriság, fészkelési hely és vonulási típus) alapuló kilenc funkcionális csoport faj- és egyedszámait számoltuk ki. A 21, elemzéseinkbe bevont erdei madárfajt, illetve azok funkcionális csoportokba való besorolásait a 2. táblázat tartalmazza. A madárfajok kiválasztásának részleteit, illetve a vizsgált húsz madárközösség-változó számításának módját úgyszintén e dolgozat 3.2.2. fejezete tartalmazza.

4.2.3. Háttérváltozók

Elemzéseink során háttérváltozók három csoportjának hatását vizsgáltuk az erdei madárközösségek gazdagságára, amelyek: (1) a CORINE felszínborítási adatbázisból számolt, a táj összetételét jellemző egyszerűbb háttérváltozók, (2) az Országos Erdőállomány Adattár adataiból számolt részletesebb, elsősorban a vizsgált UTM-ek erdeinek fafajösszetételét és szerkezetét jellemző háttérváltozók, illetve (3) az UTM négyzetek éghajlati jellemzőit leíró néhány változó. Az elemzések során használt háttérváltozók listáját, mértékegységeit és néhány statisztikai alapjellemzőjét a 4. táblázat tartalmazza.

A CORINE Felszínborítási Adatbázisból számolt háttérváltozókat (erdők, gyepek, urbán és agrár területek arányait) a 3. fejezetben bemutatott elemzésből vettük át, azok számításának részleteit e dolgozat 3.2.3. fejezete tartalmazza.

Az összes hazai erdőről létező legrészletesebb adatbázis jelenleg az Országos Erdőállomány Adattár (Tobisch & Kottek 2013). Ebben elsősorban a gazdálkodás alapegységének számító erdőrészek faállományának életkoráról, fafajösszetételéről, és szerkezetéről találunk – az erdőgazdálkodó szakemberek számára leginkább lényeges – információkat. Az adatbázis minden erdőreszletre megkülönböztet egy vagy néhány úgynevezett fafajsort, amely az erdőállomány négy szintjén belül (felső szint, alsó szint, újulati szint és hagyásfa szint) egy adott fafaj egy életkorú egyedeit jellemzi. Egy-egy fafajsortban szerepel például az érintett fák jellemző kora és elegyaránya. Háttérváltozóink számolásához a vizsgált 106 UTM-be részben vagy egészben beleeső összes erdőreszlet adataival dolgoztunk, ez összesen 5427 erdőreszlet 13122 fafajsortjának adatait jelentette. Az általunk használt erdészeti üzemtervi adatok 2009-ből származnak, így, hogy pontosabban illeszkedjenek az 1999-2001 évekből származó madár-adatainkhoz, igyekeztünk úgy korrigálni az adatokat, hogy a lehető legjobban közelítsék a feltételezhető 2000-es állapotot. Egyrészt értelemszerűen kivontunk kilenc évet minden egyes fafajsort életkorából, másrészt azon állományok esetében, amelyeket ez alatt a kilenc év alatt véghasználtak (574 erdőreszlet, ami az összes vizsgált erdőreszlet kicsit több, mint 1%-a), légifotók és a környező erdőreszletek adatai alapján próbáltuk minél jobban rekonstruálni a feltételezhető 2000-es állapotot.

4. táblázat. Elemzésbe vont potenciális háttérváltozók. Minden háttérváltozó a 2,5 km x 2,5 km-es UTM négyzetekre vonatkozik, azok pontos számítási módját a 4.2.3. fejezet tartalmazza.

Háttérváltozók	Mértékegység	Átlag (Min.-Max.)
Táji környezet összetétele		
Erdősültség	%	28,9 (0,3-97,2)
Mezőgazdasági területek aránya	%	50,7 (0,0-98,1)
Urbán területek aránya	%	9,1 (0,0-65,2)
Gyepek aránya	%	4,2 (0,0-60,8)
Faállomány-változók		
Legidősebb erdőrészlet kora	év	78 (11-176)
Erdőrészletek átlagos kora	év	34,3 (7,5-78,9)
Erdőrészletek korkategória-diverzitása	-	1,01 (0,00-1,77)
Erdőrészletek átlagos fafajsza	db	2,26 (1,00-5,43)
Erdőrészletek faállománytípus-diverzitása	-	1,23 (0,00-2,27)
Idegenhonos fafajok átlagos aránya az erdőrészletekben	%	51,2 (0,0-100,0)
Erdőrészletek szintjeinek átlagos száma	db	1,02 (0,56-1,22)
Erdőrészletek fafajсорainak átlagos száma	db	2,38 (0,90-5,43)
Éghajlati változók		
Tengerszint feletti magasság	m	176 (78-530)
Klímaazon-diverzitás	-	0,21 (0,00-1,06)
Ellenberg-féle ariditási index	-	36,1 (26,6-43,8)

A mintanegyzeinkben található erdők koreloszlási viszonyait három háttérváltozóval jellemeztük. Egyrészt minden UTM-négyzet esetében kiszámoltuk a benne található erdőrészletek legfelső szintjeinek átlagos korainak (hiszen egy szinthez sok esetben több különböző korú fapopulációkat tartalmazó fafajсор is tartozik) átlagát az erdőrészletek területével súlyozva. Emellett minden UTM-négyzethez hozzárendeltük háttérváltozóként a benne található erdőrészletek közül a legnagyobb átlagos korú legfelső szinttel rendelkező erdőrészlet legfelső szintjének átlagos korát. Végül a legfelső szint átlagos életkorai alapján kor szerint kategóriákba soroltuk az egyes erdőrészleteket (kategóriák: 0-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100 és 100+ év), majd kiszámoltuk mintanegyzeinkben az erdőrészletek terület alapú korkategória Shannon-diverzitását. A vizsgált UTM-négyzetek erdeinek fafajösszetételét úgyszintén három háttérváltozó kiszámításával próbáltuk jellemezni. A domináns állományszint (felsőszint> alsó szint> újulat szint> hagyásfa szint) átlagos fajszámát olyan módon nyertük, hogy minden erdőrészlet esetében kiszámoltuk a domináns

szint fajszámának területtel súlyozott számtani átlagát (természetesen azokban az esetekben, amikor egy erdőrészletnek csak egy része esett a szóban forgó négyzetbe, a területtel való súlyozások során csak az erdőrészlet mintanégyzetbe eső részének területével számoltunk). Ez a változó valószínűleg elég jól leírja, hogy mennyire fajgazdagok az adott területen előforduló erdőállományok az azokat alkotó fő fajok tekintetében. Mintanégyzeteink erdőtípusainak változatosságát olyan módon próbáltuk jellemezni, hogy az Országos Erdőállomány Adattárban minden egyes erdőrészletre megadott faállománytípusokat összevontuk néhány, az erdei madarak esetében értelmesnek tűnő nagyobb faállománytípusba. Ezek: bükkösök, cseresek, molyhos tölgyesek, kocsányos tölgyesek, kocsánytalan tölgyesek, gyertyános-kocsánytalan tölgyesek, gyertyánosok, kőrisesek, égeresek, fűzesek, nyíresek, hazai nyarasok, nemesnyarasok, akácosok, erdeifenyvesek, feketefenyvesek, lucosok, egyéb fenyvesek, egyéb őshonos fajfajú állományok, egyéb idegenhonos fajfajú állományok, kevert állományok. E faállománytípusok alapján kiszámoltuk minden egyes UTM-négyzet esetében a faállománytípusok terület alapú Shannon-diverzitását (Shannon & Weaver 1949), amely reményeink szerint jól jellemzi egy-egy mintanégyzet erdeinek fajfaj sokszínűségét. Végül, minden egyes UTM-négyzet esetében kiszámoltuk az idegenhonos fák átlagos arányát az erdőrészletek legfelső szintjeiben, az erdőrészletek területével súlyozva. Az Országos Erdőállomány Adattár az erdők szerkezetéről is nyújt némi információt, e munkában mi kettő olyan háttérváltozót számoltunk ki az elemzésbe vont UTM négyzetekre, amely az erdőknek erről az oldaláról tájékoztat. Egyrészt minden UTM négyzet esetében kiszámoltuk a bennük található erdők szintszámainak (felső szint, alsó szint, újulati szint, hagyásfa szint) területtel súlyozott átlagát. Ez a változó közelítő információt nyújt az UTM-ben található állományok színtezettségéről. Másrészt pedig úgyszintén kiszámoltam az UTM-négyzetekben található erdőrészletek fajfajszámának az erdőrészletek területével súlyozott átlagát. Ez már kicsit összetettebb mérőszám, hiszen a fajfajsorok száma mind az erdőt alkotó fajfajok számának, mind a szintek számának, mind az eltérő korú fapopulációk számának növekedésével növekedhet.

Ahogy arról az irodalmi áttekintésben is esett szó, az erdei madarak előfordulása, az élőhelyükül szolgáló erdők számos egyéb jellemzője mellett, sok esetben kapcsolatot mutat élőhelyük éghajlati viszonyaival is. Hogy némi betekintést nyerhessünk az erdei madarakat befolyásoló tényezők e csoportjába, az elemzések során vizsgáltuk három olyan háttérváltozó hatását is, amelyek a kutatásunkban szereplő erdők éghajlatának egy-egy tulajdonságát jellemzik. Legegyszerűbb mérőszámként háttérváltozóként használtuk az UTM-négyzeteink tengerszint feletti magasságának mediánját. Emellett kiszámoltuk az Országos Erdőállomány

Adattárban minden egyes erdőrészletre úgyszintén szereplő klímazóna-típusok Shannon-diverzitását, amely változó reményeink szerint jól jellemzi egy-egy UTM erdeinek sokféleségét ebben a tekintetben. E két változó mellett minden egyes UTM-négyzet esetében számítottunk egy Ellenberg-ariditási indexet (Ellenberg 1988), amely mintanégyzeteink erdeinek üdeségét hivatott jellemezni.

4.2.4. Adatelemzés

Mivel e munka folytatása a jelen dolgozat 3. fejezetében ismertetett kutatásnak, és kérdésfeltevésem is hasonló jellegű (ugyanúgy környezeti változók hatását vizsgálom egyes madárközösség-változókra), először ez esetben is az ilyen típusú elemzések során leginkább elterjedt általános lineáris modellezés (general linear regression models, Faraway 2005, 2006; Everitt & Hothorn 2006) módszerét alkalmaztam. Azonban hamar egyértelművé vált, hogy jelen adatbázis több szempontból is e módszer korlátait feszegeti: viszonylag sok, egymással sok esetben szövevényes módon összefüggő háttérváltozó hatását próbáltam feltárni, amelyek ráadásul sok esetben valamilyen lineáristól erősen eltérő összefüggést mutattak a vizsgált madárközösség-változókkal. Ezért olyan adatelemzési módszert kerestem, amely meg tud felelni ezeknek a kihívásoknak, és képes külön-külön értékelni több egymással korreláló háttérváltozó fontosságát.

Így került a látókörömbe az elmúlt nagyjából húsz évben megjelent gépi tanulás, avagy machine learning, azon belül is az ensemble learning algoritmusok, amelyek számos modell eredményeit összegezve jutnak egy számottevően jobb prediktív erejű modellhez. Több hasonló módszer közül én jelen elemzéshez végül az egyre szélesebb körben elterjedt random forest módszert (Breiman 2001) választottam, mivel igen felhasználóbarát, ám mégis jól érthető és viszonylag könnyen értelmezhető eredményeket ad. Az elemzéseket az R.3.5.1 program (The R Foundation for Statistical Computing 2018) randomForest nevű kiegészítő csomagjának segítségével végeztem (Liaw & Wiener 2002). E módszer tulajdonképpen a „bagging trees” (Breiman 1996) módszer továbbfejlesztett változata. Lényege, hogy nagyon sok, egymástól független döntési fát (esetemben regressziós fát) épít oly módon, hogy a legkisebb végág maximum 5 objektumot tartalmazzon, azonban a folyamat során két féle random döntés is szerepel. Egyrészt minden egyes fát az összes mintaelem egy-egy random választott részhalmazából építi (bootstrap sample), másrészt pedig a döntési fa egy-egy elágazásánál nem az összes lehetséges háttérváltozóból, hanem azoknak egy véletlenszerűen

kiválasztott részhalmazából választja ki a lehető legjobbat. Így a predikció során a sok döntési fa eredményeit átlagolva meglehetősen robusztus eredményt ad. A módszer rendelkezik mindazokkal a jellemzőkkel, amelyekre jelen elemzéshez szükségem volt. Nagyjából egymástól függetlenül képes értékelni több, egymással korreláló háttérváltozó fontosságát és nem vár el semmilyen szabályos összefüggést a függő- és háttérváltozók között, ráadásul nem támaszt elvárásokat a vizsgált változók eloszlásaival kapcsolatban sem. További előnye, hogy nagyon egyszerűen paramétrezhető, az elemzések során csupán két változót kell megadni (ezekről, illetve a módszer alkalmazásának egyéb gyakorlati részleteiről lásd: Liaw & Wiener 2002): (1) Az építendő fák számát (n_{tree}). Ez természetesen minél több, annál stabilabb lesz a végeredmény, én elemzéseim során egységesen 10000 fát használtam, amely már nagyon stabil eredményt ad. (2) Azt, hogy az elágazásoknál a program a háttérváltozók véletlenszerűen kiválasztott mekkora részéből válasszon (m_{try}). A módszer alapbeállítása esetén ez az érték a háttérváltozók 1/3-a, a szokásos eljárás pedig az, hogy az elemzés során kipróbáljuk ennek a felét, illetve kétszeresét, és e három futtatás közül azt az elemzést választjuk, amelyik a legkisebb predikciós hibával (out-of-bag error, továbbiakban OOB-error) rendelkezik.

Ugyan a randomForest program az elemzés lefuttatása után eredményül adja a vizsgált háttérváltozók fontossági sorrendjét, és azok fontosságát két mérőszámmal is jellemzi (ezek bemutatását az olvasó a következő bekezdésben találja), mégis, ahogyan azt az ilyen jellegű elemzéseknél megszokhattuk, érdemes beiktatni egy változószelektálási lépést is, amelynek célja a vizsgált függő változó esetében fontos, illetve kimutatható mértékben nem fontos háttérváltozók elkülönítése. A random forest módszer esetében erre több módszer is kínálkozik (lásd például Svetnik et al. 2000; Strobl et al. 2008; Genuer et al. 2010). Ezek közül én a Genuer és munkatársai (2010) által javasolt módszert választottam, mivel az általuk fejlesztett változószelektálási algoritmus jól reflektál több, a korábbi módszerek alkalmazása során felmerült problémára, viszonylag egyszerűen alkalmazható, azonban jól értelmezhető eredményeket ad. A modellszelektálást az R program VSURF kiegészítő csomagjával végeztem, amelynek ismertetését Genuer és munkatársainak (2015) publikációja tartalmazza. A módszer háttérváltozók két csoportját választja ki, és adja végeredményül. Egyrészt egy bővebb listát, amelyben szerepel minden olyan háttérváltozó, amely egy random háttérváltozónál kimutathatóan erősebb kapcsolatot mutat a vizsgált függő változóval (interpretációs lista). Másrészt pedig e bővebb csoport egy részhalmazát, amely már csak olyan háttérváltozókat tartalmaz, amelyek egy elvárt minimális küszöbértéknél nagyobb mértékben járulnak hozzá a függő változó helyes predikciójához, ilyen módon ez a szűkebb

lista egy redundanciától már többé-kevésbé mentes, predikcióra alkalmas modell alapja lehet (predikciós lista). Mivel nekem e munka során fő érdeklődésem az erdei madárközösség gazdagsága szempontjából fontos háttérváltozók megtalálása, azok fontosságának összehasonlítása volt, dolgozatomnak ebben a fejezetében a madárközösség húsz vizsgált változója esetében az interpretációs listában szereplő háttérváltozókból épített random forest modelleket ismertettem. Azonban a bemutatott modelleknél (5. táblázat) tájékoztatásul minden esetben dőlt betűvel jelölöm azokat a háttérváltozókat is, amelyek a predikciós listában is szerepeltek. A VSURF ezt a kettő (interpretációs és predikciós) listát a következő módon állítja elő: először az elemzésbe vont háttérváltozókat sorba rendezi a randomForest által generált változófontossági mutató (%IncMSE, lásd a következő bekezdésben) szerint, majd ez alapján random forest-ek egyre növekvő beágyazott sorozatát hozza létre (forward selection). A random forest modellek szintén beépített alapvető paramétere azok predikciós hibája (OOB-error). Ez, ahogyan újabb és újabb olyan háttérváltozókat adunk a modellhez, amelyek számottevően összefüggenek a függő változóval, először folyamatosan csökken, majd ahogy ilyen összefüggést nem mutató háttérváltozókig jutunk, lassan ismét nőni kezd. A VSURF interpretációs listaként azokat a háttérváltozókat adja eredményül, amelyekből a legkisebb predikciós hibájú modell épült. Pontosabban az OOB-error minimum értéke körüli ingadozásokat kiküszöbölendő, a minimum környéki OOB-errorú modellek közül a legkisebb (legkevesebb háttérváltozót tartalmazó) modellt választja. A modellszelekció további részleteit az olvasó megtalálja Genuer és mtsai. (2010), és Genuer és mtsai. (2015) munkáiban.

Végül szeretném röviden ismertetni a következő fejezetben bemutatott modellek néhány jellemzőjét. Minden modellenél megadom a randomForest által számolt varianciafedést. Amíg az általános lineáris modellek esetében megadott hasonló érték a modell számításához használt objektumokra a modell által jóslott eltérésnégyzetösszegekből számítható, addig a random forestnél minden egyes fa esetében az adott fa építéséhez nem használt objektumokra számított predikciós hibából (OOB-error), vagyis ez az érték valamelyest szigorúbb. Ezek után minden modell esetében bemutatom a modellben szereplő háttérváltozókat, és azoknak a randomForest által megadott két változófontossági mutatóját. A VSURF-al történő változószelekció alapjául is szolgáló változófontossági mutató (%IncMSE) egy százalékos érték, amely azt mutatja meg, hogy a modell predikciós hibája mennyit nő, ha a kérdéses háttérváltozót randomizáljuk (így értéke 100%-nál nagyobb is lehet, nem ható háttérváltozó esetében pedig akár negatív értéket is felvehet). A randomForest által megadott másik változófontossági mutató (IncNodePurity) azt fejezi ki, hogy egy

háttérváltozó mennyire tisztán, vagyis a valóságnak megfelelően bontja az OOB-objektumokat. Pontosabban azt mutatja meg, hogy átlagosan mennyit csökken egy fa predikciós hibája a kérdéses háttérváltozót használó elágazások által. Mindkettő változófontossági mutató közös jellemvonása, hogy az értékek ugyan nem additívak (vagyis például összegük nem adja meg a modell varianciafedését), viszont egymással összehasonlíthatóak, így a vizsgált háttérváltozók relatív fontosságának értékelésére alkalmasak. Mivel a két változófontossági mutató a háttérváltozók hatásának más-más oldalát mutatja meg, a két mutató alapján a változók fontossági sorrendje kicsit eltérhet.

4.3. Eredmények

4.3.1. Erdei madárközösség gazdagságának összefüggései a környezeti változókkal

A random forest modellek magyarázó ereje erősen különbözött az egyes madárközösség-változók esetében, 26% - 69% között alakult (a húsz modell részleteit az 5. táblázat tartalmazza). A fajszám modellek lefedése kicsit kisebbnek bizonyult (átlagosan 50,0%), mint az egyedszám modelleké (átlagosan 52,1%), bár a különbség nem volt szignifikáns (páros t próba, $p=0,7183$, $df=9$). Úgy tűnik, legjobban azok a madárcsoportok modellezhetők a vizsgált háttérváltozókkal, amelyek sok gyakori madárfajt tartalmaznak, például az összes erdei madár, gyakori erdei madarak, állandó madárfajok vagy a másodlagos odúlakó madarak csoportjai (55% - 69% közötti varianciafedések). Ezzel szemben a ritkább fajokat tömörítő csoportok esetében, mint amilyenek a ritka erdei madarak, hosszútávú vonuló madárfajok, vagy az elsődleges odúlakók csoportjai, sokkal kisebb a modellek magyarázó ereje (kb. 26% - 45% közötti varianciafedések).

5. táblázat. Random forest modellek és a bennük szereplő háttérváltozók. A táblázatban közlöm a bemutatott modellek által magyarázott varianciát, a modellekben szereplő háttérváltozókat az alap változófontossági mutató (%IncMSE) szerinti fontossági sorrendben és a kettő, randomForest által számolt változófontossági mutató (%IncMSE és NodePurity) értékeit. Az itt bemutatott modellek a VSURF változószelekció által kijelölt interpretációs lista háttérváltozóiból épültek, azonban tájékoztatásul minden modell esetében dőlt betűvel kiemeltem az adott madárközösség-változó esetében VSURF által javasolt predikciós változókat is.¹

	%IncMSE	Node Purity		%IncMSE	Node Purity
Erdei madarak egyedszáma; Var.=66,7%			Erdei madarak fajsza; Var.=64,1%		
<i>Erdősültség</i>	130,5	31411	<i>Erdősültség</i>	174,7	1447
<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	76,8	21253	<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	121,1	1047
<i>Erdőrézletek koraat.-diverzitása</i>	70,4	23852			
Gyakori madarak egyedszáma; Var.=63,6%			Gyakori madarak fajsza; Var.=63,2%		
<i>Erdősültség</i>	127,3	27113	<i>Erdősültség</i>	176,9	524,2
<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	69,94	18435	<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	119,1	395,4
<i>Erdőrézletek koraat.-diverzitása</i>	64,93	20481			
Ritka madarak egyedszáma; Var.=40,9%			Ritka madarak fajsza; Var.=43,4%		
<i>Erdősültség</i>	106,1	352,2	<i>Erdősültség</i>	139,9	352,2
<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	91,2	229,0	<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	84,8	229,0
Állandó madarak egyedszáma; Var.=55,1%			Állandó madarak fajsza; Var.=61,7%		
<i>Erdősültség</i>	84,5	5267	<i>Erdősültség</i>	161,6	518,1
<i>Erdőrézletek koraat.-diverzitása</i>	62,9	4736	<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	131,9	398,7
<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	59,2	3999			
<i>Tengerszint feletti magasság</i>	42,6	3794			
<i>Urbán területek aránya</i>	25,6	2195			
Rövidtávú vonulók egyedszáma; Var.=61,8			Rövidtávú vonulók fajsza; Var.=53,0%		
<i>Erdősültség</i>	115,5	8988	<i>Erdősültség</i>	96,4	81,4
<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	66,6	5714	<i>Faállománytípus-diverzitás</i>	63,5	54,7
<i>Erdőrézletek koraat.-diverzitása</i>	52,8	6041	<i>Ellenberg ariditási index</i>	53,1	39,5
			<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	47,9	51,2
			<i>Urbán területek aránya</i>	45,8	25,9
			<i>Erdőrézletek koraat.-diverzitása</i>	40,7	40,7
Hosszútávú vonulók egyedszáma; Var.=33,5%			Hosszútávú vonulók fajsza; Var.=26,5%		
<i>Tengerszint feletti magasság</i>	61,3	61,2	<i>Erdősültség</i>	81,5	19,9
<i>Erdősültség</i>	39,4	57,6	<i>Tengerszint feletti magasság</i>	55,9	18,2
<i>Idegenhonos fafajok aránya</i>	31,9	35,5	<i>Erdőrézletek koraat.-diverzitása</i>	37,2	16,9
<i>Legidősebb erdőrézlet kora</i>	27,3	44,5	<i>Fafajsorok átlagos száma</i>	34,9	11,5
			<i>Erdőrézletek átlagos fafajsza</i>	30,0	11,6

¹ A táblázat a következő oldalon folytatódik.

	%IncMSE	Node Purity		%IncMSE	Node Purity
Lombban költők egyedszáma; Var.=47,9			Lombban költők fajsza; Var.=49,6%		
<i>Erdősültség</i>	149,7	9200	<i>Erdősültség</i>	85,3	36,3
<i>Erdőrészletek karkat.-diverzitása</i>	84,0	7118	<i>Legidősebb erdőrészlet kora</i>	67,4	29,6
			<i>Urbán területek aránya</i>	60,3	19,3
			<i>Faállománytípus diverzitás</i>	58,0	30,8
			<i>Ellenberg ariditási index</i>	42,8	27,9
Talajon költők egyedszáma; Var.=53,5%			Talajon költők fajsza; Var.=38,7%		
<i>Erdősültség</i>	130,1	2137	<i>Erdősültség</i>	157,3	117,1
<i>Erdőrészletek karkat.-diverzitása</i>	65,5	1508	<i>Faállománytípus diverzitás</i>	66,6	93,6
<i>Legidősebb erdőrészlet kora</i>	58,0	1430			
Elsődleges odúlakók egyedszáma; Var.=43,7%			Elsődleges odúlakók fajsza; Var.=31,4%		
<i>Erdősültség</i>	98,5	168,7	<i>Erdősültség</i>	90,8	90,6
<i>Ellenberg ariditási index</i>	53,0	109,9	<i>Legidősebb erdőrészlet kora</i>	71,5	66,3
<i>Erdőrészletek karkat.-diverzitása</i>	49,4				
Másodlagos odúlakók egyedszáma; Var.=54,6%			Másodlagos odúlakók fajsza; Var.=68,7%		
<i>Erdősültség</i>	82,6	2755	<i>Erdősültség</i>	174,1	192,8
<i>Legidősebb erdőrészlet kora</i>	54,2	1530	<i>Legidősebb erdőrészlet kora</i>	131,9	145,5
<i>Erdőrészletek karkat.-diverzitása</i>	51,1	1804			
<i>Idegenhonos fajok aránya</i>	46,3	695			
<i>Erdőrészletek átlagos kora</i>	37,7	794			
<i>Tengerszint feletti magasság</i>	29,5	921			

Elemzéseim alapján a vizsgált háttérváltozók mindhárom csoportja (táj összetételét kifejező változók, faállomány-változók és éghajlati változók) mutat több-kevesebb összefüggést a madárközösség gazdagságával, az itt bemutatott modellek 2-6 háttérváltozót tartalmaznak (lásd 5. táblázat). A táj összetétele, azon belül az erdei madarak élőhelyül alkalmas területek aránya érthető okokból szinte a madárközösség minden vizsgált változója esetében a legfontosabb háttérváltozónak bizonyult, emellett azonban minden vizsgált madárközösség-változó esetében egy, vagy néhány faállomány-változó is hatásos volt. Sőt, a legfontosabbnak bizonyult faállomány-változó változófontossági mutatói sok esetben alig kisebbek, mint az erdősültség hatása, számos esetben pedig a több kisebb hatású faállomány-változó együttes hatása messze meghaladja az erdősültség hatását (mindkét változófontossági mutató alkalmas – a változók fontossági sorrendjének megállapításán túl – azok relatív fontosságának értékelésére is, lásd 4.2.4. fejezet). Ezzel szemben a mintanegyzetek éghajlatát

jellemző háttérváltozóknak, volt ugyan kimutatható hatása, de inkább csak egyes madárcsoportok esetében, és azoknál is csak gyenge összefüggéstől van szó.

A következőkben megkísérlem áttekinteni, hogy a vizsgált háttérváltozók közül melyek, és milyen módon mutatnak összefüggést az erdei madárközösségek gazdagságával. Ehhez az 5. táblázatban összefoglalt információkon túl segítségül hívom a randomForest csomag által generált parciális függőségi ábrákat, amelyek mind a húsz, itt bemutatott modellben szereplő összes háttérváltozóra megtalálhatók dolgozatom mellékletében. Ezek a random forest modellek predikcióin alapulnak, és egy-egy háttérváltozó és a vizsgált madárközösség-változó modell által jósolt kapcsolatát mutatják meg a többi, modellben szereplő háttérváltozó átlagos értékei esetén. Ezek az ábrák azért is nagyon érdekesek, mert a random forest algoritmus sajátosságaként nem feltételeznek semmilyen szabályos összefüggést a vizsgált változók között, hanem képesek megmutatni az adatok által mutatott valódi összefüggéseket.

Általános megfigyelésem, hogy a több madárfajt tömörítő csoportok esetében jellemzően kevesebb, robusztus kapcsolatot sikerült feltárni, amíg a kisebb csoportok esetében több, kisebb hatású háttérváltozó bizonyult fontosnak. Ahogyan arról e fejezet első felében már esett szó, szinte az összes madárközösség-változó esetében az erdősültség, vagyis az élőhely aránya bizonyult a legfontosabbnak a vizsgált háttérváltozók közül. Egyedül a hosszútávú vonuló madarak egyedszámánál fordult elő, hogy egy másik háttérváltozó, a tengerszint feletti magasság, megelőzte azt. A parciális függőségi ábrák alapján alapvetően pozitív jellegű kapcsolatokról van szó, azonban e kapcsolat lefutása az egyes madárközösség-változók esetében számottevően eltér. Az egyedszám jellegű madárközösség-változók sok esetben szép egyenletesen nőnek az erdősültség növekedésével (lásd például M/1., M/3., vagy M/9. ábrák). Néhány madárcsoport esetében azonban, például az elsődleges odúlakó harkályok (M/17. ábra), a másodlagos odúlakók (M/19. ábra), és a hosszútávú vonuló fajok (M/11. ábra) esetében egészen feltűnő, éles küszöb figyelhető meg kb. 40%-os erdősültségnél. A ritkább fajokat tartalmazó csoportok egy részénél a kapcsolat jellege exponenciális görbére emlékeztet (lásd M/5. és M/11. ábrákat), fajszámok esetében pedig leginkább telítődési görbét idéz (lásd például M/2. ábrát). Az állandó, a rövidtávú vonuló, és a lombkoronaszintben költő madarak csoportjainál fontos, alapvetően úgyszintén pozitív jellegű kapcsolatnak bizonyult még az urbán területek aránya is, bár ez a hatás sokkal kisebb.

Az elemzésbe vont faállomány-változók közül egyértelműen az erdőállományok életkorát jellemző háttérváltozók mutatták a legerősebb összefüggést az erdei madárközösség gazdagságával. Majdnem mindegyik madárközösség-változó esetében fontosnak bizonyult

belőlük legalább egy, de számos esetben kettő vagy akár mind a három kor-változó is, és a legtöbb madárközösség-változó esetében az erdősültség után közvetlenül egy kor-változó következett a fontossági sorban. Abban, hogy melyik kor-változó melyik madárcsoporttal mutat összefüggést, nem igazán tudok szabályszerűséget felfedezni. A vizsgált madárközösség-változók közül egy olyan van, amely esetében mindhárom kor-változó fontosnak bizonyult, ez pedig a másodlagos odúlakó madarak egyedszáma - úgy tűnik tehát, hogy e csoport számára kiemelkedően fontos az élőhelyükül szolgáló erdők életkora. A parciális függőségi ábrákon látható, hogy mindhárom kor-háttérváltozó minden esetben alapvetően pozitív jellegű kapcsolatot mutat a madárközösség-változókkal, bár ez a kapcsolat sok esetben korántsem egyenletesen növekvő. A „legidősebb erdő kora” nevű háttérváltozónk esetében modelljeink szinte minden esetben egy éles küszöböt mutatnak 100 év körül (lásd például M/1., M/6. avagy M/19. ábrákon). Vagyis úgy tűnik, hogy azon UTM-négyzetek madárközössége, amelyekben találunk 100 évnél idősebb erdőt, kiemelkedően gazdag, és ez igaz szinte az erdei madárközösség összes általunk vizsgált alcsoportjára, bár e jelenség talán a másodlagos odúlakó madarak esetében a legkifejezettebb. Ezzel szemben az erdők életkorainak diverzitásával egyes madárközösség-változók lineáris (például M/1. ábra), amíg mások inkább exponenciális (például M/12., vagy M/19. ábra) függvényhez hasonló kapcsolatot mutatnak. Ugyan meglepően kevés esetben bizonyult fontosnak az erdők átlagos kora, azonban a másodlagos odúlakó madarak esetében például igen, és ez esetben nagyjából 50 év körül ugrik meg e madarak egyedszáma (M/19. ábra).

Faállomány-változóink közül csupán kettő olyan van (erdőrészletek szintjeinek és fafajsorainak átlagos száma), amelyek, ha közvetve is, de némi információval szolgálnak a mintanégyzetek erdeinek szerkezetéről. E két háttérváltozó azonban nem igazán bizonyult használható prediktornak az erdei madárközösség gazdagságára nézve: egyetlen egyszer, a hosszútávú vonuló madarak fajszáma esetében ítélte fontosnak a VSURF változószelekciója a fafajsorok átlagos számát, de ez esetben is csak igen kicsi súllyal.

A mintanégyzetek erdeinek fafajösszetételét jellemző háttérváltozók az erdei madárközösség néhány kisebb csoportja esetében bizonyultak fontosnak. Egyrészt néhány madárcsoport – egészen pontosan a rövidtávú vonulók, a lombkoronában és a talajon költő madarak – fajszámaival határozott, pozitív összefüggést mutatott az erdőrészletek faállománytípusainak diverzitása, másrészt a hosszútávú vonuló erdei madarak fajszámára nézve fontosnak bizonyult az erdőrészletek átlagos fafajszáma. Ezen kívül, ugyan kisebb súlyokkal, de fontosnak bizonyult még a hosszútávú vonuló madarak fajszámára nézve az erdőrészletek átlagos fafajszáma, illetve két madárközösség-változó (a hosszútávú vonulók és

a másodlagos odúlakók egyedszáma) esetében az idegenhonos fafajok aránya, bár az utóbbi háttérváltozó esetében egy fura jelenségre bukkantam. Amíg azzal eredetileg negatív korrelációt (Spearman-féle korrelációk rendre $r=-0,177$, $p=0,07$ és $r=-0,358$, $p<0,001$) mutatott a madárközösség imént felsorolt két csoportja (és a többi vizsgált madárközösség-változó nagy része úgyszintén), addig a random forest modellek különös módon alapvetően pozitív jellegű összefüggést jósolnak (lásd. M/11. és M/19. ábrák). E jelenség értelmezésével kapcsolatban lásd a következő, Módszertani megjegyzések című alfejezetet.

Végül szeretném bemutatni a mintanegyizeteink éghajlati viszonyait jellemző háttérváltozók és az erdei madarak között feltárt összefüggéseket. Néhány esetben ezek a háttérváltozók is fontosnak bizonyultak. Úgy tűnik, hogy néhány madárváltozó (rövidtávú vonulók fajsza, lombkoronaszintben költő madarak fajsza és elsődleges odúlakók egyedszáma) alapvetően negatív jellegű összefüggést mutat az általunk számolt Ellenberg ariditási indexszel (M/10., M/14. és M/17. ábrák), vagyis e madarak jobban kedvelik az üdébb erdőket, bár ezek az összefüggések azért nem tűnnek túl erősnek. Ezen kívül több madárközösség-változó esetében (állandó és másodlagos odúlakó madarak egyedszáma, hosszútávú vonuló madarak fajsza) fontosnak bizonyult a tengerszint feletti magasság is. Amíg az állandó fajok és a másodlagos odúlakók egyedszáma olyan telítődési görbére emlékeztető összefüggést mutat e változóval (M/7. ábra), amely viszonylag kis tengerszint feletti magasságoknál telítődik, addig a hosszútávú vonulók fajsza érdekes módon nagyjából 300-350 méteres tengerszint feletti magasság körül ugrik meg (M/12. ábra).

4.3.2. Módszertani megjegyzések

Mind az e munkához választott elemzési módszer, mind a használt változószelektálási algoritmus eléggé új: a random forest algoritmust 2001 óta jegyzik, az általam használt változószelektálási módszert 2010 óta, de az utóbbi automatikus számítását lehetővé tevő kiegészítő R csomag csupán 2015-ben került publikálásra. Ezért talán érdeklődésre tarthat számot az elemzések során összegyűlt néhány kisebb módszertani megfigyelésem, illetve ezek dokumentálása természetesen szükséges adalék a kapott eredmények értelmezéséhez is.

Két esetben azt tapasztaltam, hogy egy-egy gyengébb hatású háttérváltozó, parciális függőségi ábrái alapján, „megfordul”, vagyis a random forest modell predikciója teljesen más jellegű kapcsolatot jósol, mint amelyet a szóban forgó változók kapcsolata alapján várhatnánk (idegenhonos fafajok aránya a hosszútávú vonulók és a másodlagos odúlakók egyedszáma

esetében, lásd M/11. és M/19. ábrák). Ezt látva ellenőriztem, és úgy tűnik, hogy (legalábbis ebben a munkában) ritka jelenségről van szó: a húsz bemutatott modellben szereplő 64 összefüggésből a random forest modell predikciója 62 esetben hasonló jellegű összefüggést jósol, mint amilyen a változók kapcsolata alapján várható. A random forest algoritmus egyik nagy előnye elméletileg éppen az, hogy jól képes kezelni a háttérváltozók közötti interakciókat. Azt gyanítom azonban, hogy azokban az esetekben, amikor egy gyengébb hatású, vagy nem ható háttérváltozó erős korrelációt mutat egy erősebben ható háttérváltozóval, néha ez a módszer sem képes tökéletesen egymástól függetlenül értékelni az egyes háttérváltozók hatását (lásd Strobl et al. 2008). Még egyszer szeretném azonban kiemelni, hogy nagyon ritka, kizárólag néhány kisebb fontosságú háttérváltozó esetében tapasztalt jelenségről van szó, és tapasztalataim alapján e módszer valóban nagyságrenddel jobban boldogul az egymással korreláló háttérváltozókkal, mint például az általános lineáris modellek.

Másik módszertani észrevételem a VSURF kiegészítő csomaggal történő változószelektáláshoz kötődik. Tulajdonképpen a véletlennek köszönhetően észrevettem, hogy kettő vizsgált madárközösség-változó esetében (elsődleges odúlakók egyedszáma és lombkoronában költő madarak egyedszáma) a VSURF változószelektálási algoritmus nem ad stabil eredményt. Pontosabban többször lefuttatva azt, két modell közül hol egy kisebbet (három háttérváltozót tartalmazó modellt az elsődleges odúlakók egyedszáma, és kettő háttérváltozót tartalmazó modellt a lombkoronában költő madarak egyedszáma esetében), hol egy jóval nagyobbat (hét háttérváltozót tartalmazó modellt az elsődleges odúlakók egyedszáma, és tíz háttérváltozót tartalmazó modellt a lombkoronában költő madarak egyedszáma esetében) javasol. A változószelektálási folyamatnak az a lépése, amelynek során e program kiválasztja az interpretációs listához javasolt háttérváltozókat, alapvetően az OOB-hibán alapul. Ez jellemzően határozottan csökken az újabb és újabb háttérváltozók hozzáadásával, amíg fontos háttérváltozókról van szó, majd némi ingadozás után enyhén emelkedni kezd, ahogyan már hatás nélküli háttérváltozók kerülnek sorra. Az algoritmus, éppen ennek az ingásnak a megfelelő kezelése érdekében, hozzáadja a legkisebb OOB-errorú modellhez az OOB-errorjának szórását, és az ebbe a tartományba eső, minimumközeli OOB-errorú modellek közül a legkisebbet (legkevesebb háttérváltozót tartalmazót) választja. Az általam megfigyelt két esetben az történt, hogy az OOB-errornak e függő-változók esetében két minimumközeli értéke volt, és az egyes futtatások inogtak annyira, hogy a kevesebb háttérváltozót tartalmazó, de kicsit nagyobb OOB-errorú modell hol beleesett ebbe a tartományba, hol nem. Mivel ez esetben csupán nagyon kicsivel jobb modellt kaptam volna

sokkal több háttérváltozóval, az eredmények között mindkettő madárközösség-változó esetében a kisebb modellt mutatom be. E tapasztalat hatására ellenőriztem, és a többi 18 vizsgált madárközösség-változó esetében nem tapasztalható ilyen jellegű bizonytalanság, vagyis többször lefuttatva az egyes változószelekciókat, minden esetben ugyanazokat az eredményeket kaptam.

4.4. Eredmények megvitatása

4.4.1. Táji környezet egyes jellemzőinek relatív fontossága az erdei madárközösségekre

Elemzéseim alapján úgy tűnik, hogy a vizsgált háttérváltozók mindhárom csoportja (táj összetételét kifejező változók, faállomány-változók és éghajlati változók) mutat többkevesebb kapcsolatot az erdei madárközösségek gazdagságával. Amíg azonban az élőhely aránya, és az erdőket jellemző, Országos Erdőállomány Adattár adataiból származtatott változók egyaránt nagyon fontosnak tűnnek, az éghajlati változók csak gyengébb kapcsolatokat mutatnak az erdei madárközösségek gazdagságával. Az, hogy az élőhely aránya fontos, sőt, talán a legfontosabb a vizsgált változócsoporthoz, egyáltalán nem meglepő eredmény. Arra is számítottam, hogy az Országos Erdőállomány Adattár adataiból származtatott erdőjellemzők úgyszintén kapcsolatot fognak mutatni az erdei madárközösség gazdagságával, ilyen módon pontosítanak a kizárólag táji változókat tartalmazó modelleken. Azonban az, hogy ez az utóbbi változócsoporthoz majdnem olyan fontosnak bizonyul majd az erdei madárközösség legtöbb vizsgált változója esetén, mint az élőhely mennyisége, kissé meglepett. Sőt, egyes érzékenyebb fajokat is tartalmazó madárcsoportok (például a hosszútávú vonulók, vagy a másodlagos odúlakók) esetében a több, kisebb erdőminőség-jellemző összesített hatása messze meghaladta az erdősültségét.

4.4.2. Madárközösséggel összefüggést mutató háttérváltozók hatásainak értékelése

Az élőhely (erdők és egyes esetekben urbán területek) arányának erdei madárközösségekre gyakorolt hatásával részletesen foglalkoztam e dolgozat 3. fejezetében, ezért e változó(k) hatásának értékelésére e helyen nem térek ki külön.

A legerősebb összefüggést a madárközösségek gazdagságával az Országos Erdőállomány Adattárból származtatott háttérváltozók közül a mintanegyzetek erdeinek életkorát jellemző változók mutatták. Ez az eredmény jól összecseng Fuller (1995, 72. oldal) azon megállapításával, miszerint az eltérő korú erdőrészek olyannyira eltérő körülményeket jelentenek az erdei madarak számára, hogy különböző életkorú állományok esetén azok életkorának hatása szinte minden más hatást felülír. Mivel jellemző módon az erdei madárközösségek faj- és egyedszáma egyaránt nő az erdő életkorával (Helle & Mönkkönen 1990), nem meglepő, hogy a mintanegyzeinkben található legidősebb erdő életkora erősen összefügg az erdei madárközösségek gazdagságával. Ugyan én elsősorban az erdei madárközösség fajsza szám jellegű változói esetében számítottam erre az összefüggésre (hiszen az idős erdők újabb fajok megjelenését teszik lehetővé), azonban meglepő módon úgy tűnik, hogy e háttérváltozó az erdei madarak egyedszámával szinte ugyanilyen erősen, és pozitívan függ össze. Erdőtársulásaink egykorú állományainak madárközösségei markánsan változnak azok másodlagos szukcessziója mentén (Helle & Mönkkönen 1990), és az egyes erdei madárfajok sok esetben jellegzetesen kötődnek egyes fázisokhoz, ahogy azt például Begehold et al. (2016) dokumentálták természetközeli bükkösök esetében. Valószínűleg ez a magyarázata annak, hogy az erdei madárközösségek gazdagságát táji léptékben pozitívan befolyásolja az abban található erdők korosztály-diverzitása is.

A mintanegyzeinket alkotó erdők életkora mellett azok fafajösszetétele az a jellemzőjük, amelyről az Országos Erdőállomány Adattár valószínűleg nagyjából pontos és hiteles információkkal szolgál. E vizsgálat alapján a fafajösszetételnek kimutatható hatása van az erdei madárközösség gazdagságára nézve, bár ez a kapcsolat nem túl erős (és ez az összefüggés jól összecseng a szakirodalmi megfigyelésekkel is, lásd például Fuller és Henderson (1992); Mönkkönen (1994)). Pontosabban úgy tűnik, hogy az egész erdei madárközösség esetében nem is mutatható ki ilyen hatás, csupán egyes madárcsoportok esetében. Néhány kisebb fontosságú, ráadásul statisztikailag erősen megkérdőjelezhető összefüggést leszámítva (lásd 4.3.2. fejezet) a faállománytípusok diverzitása az a háttérváltozó, amely úgy tűnik, alapvetően pozitív jellegű összefüggést mutat az erdei madárközösség egyes csoportjaival, például a rövidtávú vonuló erdei madarak, a lombkoronában és a talajon költő erdei madarak fajsza számával, sőt, ez a hatás egészen kifejezett. Úgy tűnik tehát, hogy e csoportok fajsza számára egyértelműen pozitív hatással van, ha a tájban többféle erdőtípus is jelen van. Nagyon érdekes azonban, hogy e háttérváltozó, amíg kifejezetten fontosnak bizonyult a szabadon költő madárfajok számára (fontossága e csoportok esetében messze megelőzte az állományok életkorát kifejező változókét is), még

csak meg sem jelenik az odúlakó fajok csoportjai esetében. E jelenség oka nem teljesen világos számomra, az azonban bizonyos, hogy a fafajösszetétel és az erdőszerkezet sok esetben erősen összefügg (Moskát et al. 1988; Hewson et al. 2011). Elképzelhetőnek tartom, hogy az egyes faállomány-típusokhoz kötődő különböző erdőszerkezeti jellemzők a szabadon költő madarak közül más-más fajoknak kedveznek, amíg az odúlakókat erőteljesebben korlátozza az erdők életkora, illetve azon keresztül a költőhelyül alkalmas nagy fák megléte, avagy hiánya (lásd például Moskát & Waliczky 1992; Wesolowski 2012). Ilyen erdőszerkezeti jellemző lehet például a fő fafaj árnyaló-képességével összefüggésben az alsóbb szintek gazdagsága, amely viszont sok esetben összefügg egyes, ezen szinteken költő, avagy táplálkozó madárfajok előfordulásával (lásd például Moskát & Fuisz 1992; Hagan & Meehan 2002).

Ezzel szemben úgy tűnik, hogy az Országos Erdőállomány Adattár adataiból számolt szerkezeti háttérváltozóink nem mutatnak számottevő összefüggést az erdei madárközösség gazdagságával, annak ellenére, hogy az általánosan elterjedt vélekedés szerint az erdő szerkezete az erdei madárközösségek gazdagságának talán legbiztosabb előrejelzője (MacArthur & MacArthur 1961; Fuller 1995). Ahogyan arról az előző bekezdésben már esett szó, ennek egyrészt az lehet az oka, hogy a hazánkban elterjedt vágásos erdőgazdálkodás miatt jellemző egykorú állományok esetében az eltérő életkorú állományok hatása részben felülírhatja az erdőszerkezet hatását. Azonban a legfontosabb ok véleményem szerint inkább az lehet, hogy az Országos Erdőállomány Adattárból számolt háttérváltozók valóban elég rosszul jellemzik mintanegyzeiteink erdeinek szerkezetét. Az e munkában használt háttérváltozó-készlet egyáltalán nem nyújt információt az erdők számos, erdei madarak számára ismert fontos szerkezeti jellemzőjéről, például az állományok gye- és cserjeszintjeinek fejlettségéről vagy a holtfa mennyiségéről. Amiről elméletileg nyújtania kellene némi információt, az az állományok színezettség, amely pedig az erdő szerkezetének a madarak számára az egyik legfontosabb szerkezeti tulajdonsága (Fuller 1995, 74. oldal). Úgy tűnik azonban, hogy az Országos Erdőállomány Adattárból minden erdőrészletre kinyerhető szintszám, illetve fafajsorok száma, nem igazán alkalmasak az erdei madárközösség gazdagságának modellezésére. Amíg a fafajsorok száma az erdei környezet többféle jellemzőjével is összefüggésben áll (hiszen azok száma egyaránt nő a fafajok számának, és az eltérő korú fapopulációk számának a növekedésével), a faállományok vertikális szerkezetéről elviekben leginkább a szintszám tájékoztat. E háttérváltozó sajnos valószínűleg azért nem működik jól az erdei madárközösség gazdagságának modellezésében, mivel gyakorlatilag nincs értékelhető varianciája mintaterületeinken. Én e munkában

hátterváltozóként az erdőrészek szintszámainak területtel súlyozott átlagát használtam, amely nagyjából 0,9-1,2 körül szór (lásd 3. táblázat), amely valószínűleg híven tükrözi az ország erdeinek nagy részét kitevő, elsősorban gazdasági célokat betöltő erdők szegényes szerkezetét. Ezen felül a fafajsorok csak minimális információt tartalmaznak az állományon belül előforduló szintek térbeli elhelyezkedéséről, vagyis több szint esetén a fafajsorok alapján csak igen korlátozottan állapítható meg, hogy azok fizikailag elkülönülő, egyszerű szerkezetű erdőrészeket, vagy esetleg valóban szintezett állományt takarnak. Ez a hiányosság nyilván még tovább rontja a szintek számának használhatóságát az erdei madárközösség gazdagságának modellezésében.

Várakozásomnak megfelelően úgy tűnik, hogy az erdei madárközösség gazdagsága valóban mutat némi kapcsolatot éghajlati jellemzőkkel, bár e kapcsolatok nem túl erősek. Egyrészt az erdei madárközösség néhány csoportja alapvetően negatív jellegű összefüggést mutat az Ellenberg ariditási indexszel, vagyis e csoportok inkább kedvelik az üdebb erdőket. Az ariditás nagyjából fordítottan arányos egy-egy társulás produktivitásával, ami több biomasszát, ehhez kapcsolódóan több potenciális költőhelyet és táplálékot jelent, ami számos erdei madárfajra van kimutatható pozitív hatással (von Haartman 1971; Newton et al. 1986). Másrészt az erdei madarak néhány csoportja, kis mértékben ugyan, de kapcsolatot mutat a mintanegyzetek átlagos tengerszint feletti magasságával. Érdekes módon azonban a szóban forgó madárfajok kapcsolata e változóval kissé eltér egymástól. Amíg az állandó madárfajok és a másodlagos odúlakók esetében e változó parciális függőségi ábrái alapján az összefüggések leginkább egy olyan telítődési görbére emlékeztetnek, amely nagyjából 200 m tengerszint feletti magasság körül telítődik, a hosszútávú vonuló madárfajok fajszáma 300-350 méteres tengerszint feletti magasság körül mutat egy éles küszöböt, vagyis a modell ezen érték felett jóslja e csoport relatíve nagyobb fajszámait. Bár talán az sem túlságosan meglepő, ha Magyarországon vizsgálódva úgy találjuk, hogy a Magyarországon ritka madárfajok előfordulása pozitív kapcsolatot mutat a tengerszint feletti magassággal. Összességében tehát úgy tűnik, hogy egyes erdei madárcsoportok nagyobb egyed- vagy fajszámban fordulnak elő középhegységeinkben, mint az alacsonyabban fekvő területeken. E jelenség egyik fő oka talán a középhegységek ember általi kisebb befolyásoltsága lehet: nagyobb erdőarány, több természetközeli állomány, és a kisebb népsűrűség miatt az emberi hatások széles körének alacsonyabb szintje (Mönkkönen 1994; Körner 2004).

5. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése erdőrészlet léptékben részletes állományadatok alapján az Őrségben

E fejezet a „The effect of stand-level habitat characteristics on breeding bird assemblages in Hungarian temperate mixed forests” című publikációm alapján íródott: Mag, Zs. & Ódor, P. (2015). Community Ecology, 16(2): 156-166.

5.1. Célkitűzések

A 4. fejezetben bemutatott elemzés alapján úgy tűnik, hogy a hazai erdőkről létező legrészletesebb adatbázis, az Országos Erdőállomány Adattár, valóban számos olyan információt tartalmaz, amelyek jó előrejelzői az erdei madárközösségek gazdagságának. Figyelemre méltó, hogy ezen adatbázis segítségével még az érzékenyebb madárfajokat tömörítő csoportok gazdagságát is jobban sikerült előre jelezni, mint csupán a táj összetételével. Azonban e specialista fajokat is tartalmazó csoportok gazdagságát még ez esetben is számottevően gyengébben sikerült modellezni a kevésbé igényes fajokat tömörítő csoportoknál. Valószínű, hogy még ez az adatbázis sem tartalmaz információt erdeink néhány olyan tulajdonságáról, amelyek fontosak egyes igényesebb erdei madarak számára. Vagyis éppen néhány olyan erdőjellemzőről nem rendelkezünk információval, amelyek valószínűleg korlátozzák az erdei madarak előfordulását Magyarországon, ami nyilvánvalóan komolyan megnehezíti a természetvédelmi szempontok figyelembe vételét a gazdálkodási teendők tervezése során. Azt, hogy az erdőknek melyek ezek a madarak számára leginkább fontos jellemzői, részben segítenek kijelölni az ez irányú európai kutatások, azonban – ahogyan arról dolgozatomban bevezetőjében részletesebben is szó esett - az erdei madarakat korlátozó tényezők régióként némiképp eltérőek lehetnek, ezért ezeket a kutatásokat hasznos hazai vizsgálatokkal is kiegészíteni.

Az Őrs-Erdő projekt keretében erdőrészlet léptékben vizsgáltam a faállomány-szerkezet, a fafajösszetétel, a felszínborítási típusok és a gazdálkodási történet hatását az erdei madárközösségekre. Ennek a kutatásnak talán éppen az az egyik nagy erőssége, hogy a viszonylag mérsékelt mintatelemszám (35 mintaterület) és a programban dolgozó számos kutató miatt a faállományok jellemzése viszonylag széleskörű és részletes adatgyűjtésen alapulhatott. Szintén szerencsés körülmény, hogy az Őrségben – Magyarországon nem

gyakori módon – hasonló geológiai körülmények között igen változatos szerkezetű és fafajösszetételű erdők fordulnak elő, így az országnak ez a tája nagyon alkalmas efféle vizsgálatok kivitelezésére. Doktori értekezésem témája – vagyis a magyarországi erdei madárközösségek sokféleségét legerősebben befolyásoló erdőjellemzők megtalálása – szempontjából azonban ennek a munkának az eredményei csak körültekintéssel alkalmazhatóak, mivel az Őrség jellegzetesen különbözik Magyarország számos más erdős tájától. Ennek ellenére, mint esettanulmány, mégis nagyon értékes, mivel kevés kutatás született a témában idáig Magyarországon.

E munka során pontosabban a következő kérdésekre kerestem a választ:

1. Melyek az erdei környezetnek az erdei madárközösség gazdagságát (erdei madarak összes faj- és egyedszámát, illetve néhány funkcionális csoport faj- és egyedszámait) erdőrészlet léptékben leginkább meghatározó jellemzői az Őrség erdeiben?
2. Kíváncsiak voltunk ezen kívül arra is, hogy az erdei környezet vizsgált jellemzőinek (erdőszerkezet, erdő fafajösszetétel, felszínborítási típusok, tájtörténet) milyen a relatív fontossága az erdei madárközösség szempontjából?

5.2. Anyag és módszer

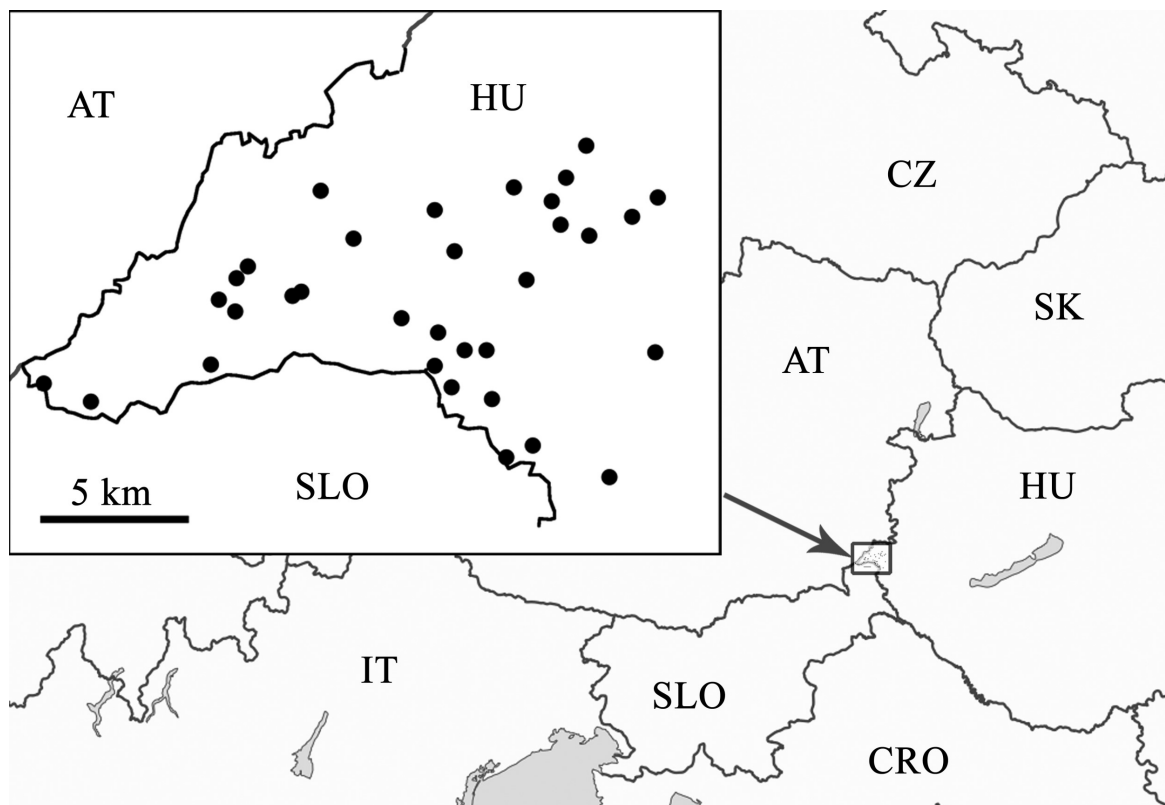
5.2.1. Kutatási helyszín bemutatása és a mintaterületek kiválasztása

E munka helyszínéül a Nyugat-Dunántúlon elhelyezkedő Őrség szolgált (4. ábra). Ezen az enyhén dombos vidéken 250-300 m a jellemző tengerszint feletti magasság, az éves csapadékmennyiség kissé nagyobb az országos átlagnál, jellemzően 700-800 mm körül alakul, az éves átlaghőmérséklet 9,0-9,5 °C (Dövényi 2010). Mivel a talaj meglehetősen savas kémhatású, és tápanyagban szegény, extenzív tájhasználati formák (mint amilyen a legeltetés, kaszálás és erdőgazdálkodás) jellemzőek. A táj erdősültsége 60% körüli (Gyöngyössy 2008), az itt található erdők mind fafajösszetételüket, mind szerkezetüket tekintve nagyon sokfélék. A fő erdőalkotó fafajok (*Quercus petraea* – kocsánytalan tölgy, *Quercus robur* – kocsányos tölgy, *Fagus sylvatica* – bükk, *Pinus sylvestris* – erdei fenyő) változatos arányban fordulnak elő, és az elegy fafajok (például *Carpinus betulus* – gyertyán, *Picea abies* – közönséges luc, *Betula pendula* – nyír, *Populus tremula* – rezgő nyár, *Castanea sativa* – szelídgesztenye,

Prunus avium – vadcsereesznye, *Acer spp.* – juharok) mennyisége is számottevő. E hazánkban szokatlanul nagy fafajösszetételbeli változatosságnak – amely annyira alkalmassá teszi ezt a tájat az efféle kutatások számára – geográfiai és történeti okai egyaránt vannak. Az őrségi erdők másik, számunkra lényeges jellegzetessége, hogy, a Magyarországon elterjedt vágásos üzemű erdők mellett, a magántulajdonú állományok között még számottevő arányban találunk szálalással hasznosítottakat is, ami egyértelműen növeli a táj erdeinek szerkezeti diverzitását (Tímár et al. 2002). Kutatási területünk részletesebb jellemzését, illetve további tájtörténeti adatokat Ódor (2015) munkája tartalmazza.

Munkánkhoz 35 erdőrészletet (melyek mérete 2-15 hektár közötti) választottunk ki rétegzett random mintavétellel (Lepš & Šmilauer 2003). A rétegzés az állományok fő fafajai (tölgyek, bükk és erdei fenyő) alapján történt, oly módon, hogy mintaterületeink lehetőség szerint egyenlő arányban tartalmazzák a fő fafajtypusokat és azok kombinációit. A kiválasztott állományok mind idősebbek 70 évnél és nagyjából sík, víz által nem befolyásolt területen helyezkednek el. A térbeli függetlenség biztosítása érdekében állományaink egymástól való távolsága minden esetben legalább 500 m volt.

4. ábra. Vizsgálati helyszínünk, az Őrség, és 35 mintaterületünk térbeli elhelyezkedése. A könnyebb tájékozódás érdekében a környező országok nemzetközi rövidítései szerepelnek az ábrán: AT: Ausztria, HU: Magyarország, CZ: Cseh köztársaság, CRO: Horvátország, IT: olaszország, SK: Szlovákia, SLO: Szlovénia.



5.2.2. Állományadatok

Háttérváltozóinkat a 6. táblázat tartalmazza. Mintaterületeinken belül egy-egy olyan 40 m x 40 m-es négyzetet választottunk azok jellemzésére, amely a lehető legjobban mintázza annak fafajösszetételét és szerkezetét, miközben olyan messze fekszik az erdőrésztől, amilyen messze csak lehetséges. Az állományok fafajösszetételének és szerkezetének jellemzéséhez felhasznált adatokat ezekben a négyzetekben gyűjtöttük 2006 és 2007 években. E területen belül rögzítettük minden 5 cm-nél nagyobb átmérőjű faegyed fajtát, magasságát és mellmagasságban mért átmérőjét (Diameter at Breast Height=DBH), beleértve az álló elhalt faegyedeket is. Feljegyeztük minden fél méternél hosszabb, és 5 cm-nél vastagabb fekvő holtfa hosszát és átlagos vastagságát is, így becsülve a holtfa mennyiségét állományainkban. A fiatalabb facsemetéket és cserjéket (5 cm átmérőnél kisebb, de fél méternél magasabb fásszárúak) is megszámoltuk, és ebből az adatból számoltuk a cserjeszint sűrűségét. A gyepszint vegetációval való borítottságát, a nyílt talajfelszínt, illetve az avarral borított területek nagyságát vizuálisan becsültük meg.

Mintaterületeink környezetének jellemzéséhez azok 100, 200, 300, 400 és 500 m sugarú köreiben állapítottuk meg egyes felszínborítási típusok (20 évesnél idősebb bükkösök, tölgyesek, erdeifenyvesek és lucfenyvesek, illetve tarvágások, települések, kaszálók és mezőgazdasági területek) arányait. E változókhoz használt adatok forrásai légifotók, térképek, és az Országos Erdőállomány Adattár adatai voltak (Tobisch & Kottek 2013). Az előzetes adatelemzés során úgy találtuk, hogy a táj összetételét leíró, nagyobb térléptékű változóknak egyáltalán nincs kimutatható hatása az erdei madarakra, így az itt bemutatott elemzésekhez egységesen a legkisebb, 100 m sugarú körhöz tartozó felszínborítási változókat használtuk, mivel úgy találtuk, hogy ezek mutatják a legtöbb kapcsolatot az erdei madárközösség változóival.

A tájtörténeti változókhoz szükséges adatokat a Második Katonai Felmérés 1853-ból származó térképeiből nyertük (Arcanum 2006). Ezekből egyrészt kiszámoltuk néhány tájhasználati forma (erdők, rétek és mezőgazdasági területek) arányait 100 m sugarú körben, másrészt bináris változóként bevontuk azt az információt, hogy maguk az erdőrészeink erdők voltak-e 1853-ban.

6. táblázat. Elemzésekbe vont potenciális háttérváltozók. A felszínborítási típusok és tájtörténeti változók a mintaterületek 100 m sugarú körére vonatkoznak. DBH=mellmagassági átmérő.

Környezeti változók	Mértékegység	Átlag (minimum-maximum)
Fafajösszetétel		
Fajszám	db/1600 m ²	5,6 (2-10)
Faj diverzitás	-	0,9 (0,2-1,9)
Bükk elegyarány	%	28,0 (0,00-94,3)
Tölgy elegyarány	%	36,2 (1,2-96,5)
Erdeifenyő elegyarány	%	26,4 (0,00-78,6)
Lucfenyő elegyarány	%	3,3 (0,0-49,6)
Gyertyán elegyarány	%	4,0 (0,0-21,8))
Egyéb fafajok elegyaránya	%	2,0 (0,0-17,3)
Faállomány-szerkezet		
Fák átlagos DBH-ja	cm	26,3 (13,6-40,6)
Fák DBH-jának szórása (variációs koefficiens)	-	0,5 (0,2-1,0)
Fák egyedsűrűsége	db/ha	591 (219-1319)
Holtfa térfogat	m ³ /ha	22,8 (1,8-78,8)
Cserjeszint sűrűsége (DBH<5 cm)	db/ha	952 (0-4706)
Gyepszint borítás	m ² /ha	741 (19-4829)
Talaj borítás	m ² /ha	147 (8-472)
Avar borítás	m ² /ha	9366 (7814-9833)
Felszínborítási típusok		
Bükkösök aránya (>20 éves állományok)	%	10,5 (0,0-100,0)
Tölgyesek aránya (>20 éves állományok)	%	12,8 (0,0-100,0)
Erdeifenyvesek aránya (>20 éves állományok)	%	26,8 (0,0-100,0)
Lucfenyvesek aránya (>20 éves állományok)	%	5,2 (0,0-12,5)
Fiatalosok aránya (<20 éves állományok)	%	1,1 (0,0-15,7)
Nyílt területek aránya (rétek, szántók, belterületek)	%	2,2 (0,0-59,1)
Felszínborítási típusok Shannon diverzitása	-	1,1 (0,1-1,9)
Tájtörténeti változók		
Erdők aránya 1853-ban	%	76,6 (24,0-100,0)
Rétek aránya 1853-ban	%	7,3 (0,0-40,7)
Agrár területek aránya 1853-ban	%	16,2 (0,0-61,3)
Erdő volt-e 1853-ban (0=nem, 1=igen)	-	0,800 (0-1)

A fafaj diverzitás és a felszínborítási típusok diverzitása esetében Shannon-diverzitást számoltunk (Shannon & Weaver 1949), rendre az egyes fafajok relatív térfogatainak és az egyes felszínborítási típusok relatív arányainak felhasználásával. A fák térfogatát fafaj-specifikus képletekkel becsültük a faegyedek magassága és mellmagassági átmérő alapján (Sopp & Kolozs 2000). Mivel a kocsányos és kocsánytalan tölgyek a régióban nem különülnek el élesen, a csertölgy pedig meglehetősen ritka az Őrségben, e három fajt az elemzések során tölgyek néven összevontuk. Mivel az álló és fekvő holtfa mennyisége igen erős pozitív korrelációt mutatott egymással, ezeket is összevonva kezeltük az elemzések során.

5.2.3. Madár adatok

A madár-adatok gyűjtése 2006 tavaszán történt pontszámlálással (Moskát 1987; Gregory et al. 2004). A költési időszak során minden mintaterület madárvilágát két alkalommal mértük fel oly módon, hogy ezek közül az első április 15 és május 10, a második május 11 és június 10 közé essen, és a két számlálás között legalább két hét teljen el. A pontszámlálás során a 40 m x 40 m-es négyzetek középpontjában állva, napfelkelte és reggel 10 óra között jegyeztem fel a 100 m sugarú körön belül tíz perc alatt látott és hallott madárfajokat. A felmérésre olyan hajnalokat választottam, amikor erős szél (Beaufort-skálán mérve nagyobb, mint 3) nem fújt és eső nem esett. Mivel az egyes madárfajok észlelhetősége jelentősen eltér, a felmérés során feljegyzett mennyiségek nem abszolút egyedszámokként, hanem inkább indikatorszerű relatív mérőszámokként értelmezendők, amelyek viszont alkalmasak az egyes területek madárközösségei közötti eltérések kimutatására (Gregory et al. 2004). Mivel a ragadozók és varjúfélék territóriumai jellemzően jóval nagyobbak, mint az erdei madarak többségéé, illetve mint az erdőrészeink mérete, ezeket a fajokat kizártuk az elemzésből. Speciális költési szokásai miatt szintén kizártuk a kakukkot (*Cuculus canorus*) is, így végül az elemzések a megfigyelt énekesek, galambfélék és harkályfajok adataival zajlottak, a vizsgált madárfajok listáját, és azok csoportosítását a 7. táblázat tartalmazza. Mivel mintaterületeink a lehető legtávolabb helyezkedtek el az erdőszéltől, azokat a fajokat pedig, amelyek territórium-mérete számottevően nagyobb a vizsgált erdőállományok méreténél, kizártuk, feltételezésünk szerint a szegélyhatás e vizsgálat során minimális volt. Minden vizsgált madárfaj esetében madár-változóink számításakor a két felmérés közül a nagyobb megfigyelt egyedszámot vettük figyelembe.

7. táblázat. Az elemzésekbe vont madárfajok magyar és latin elnevezése, csoportosítási viszonyai, frekvenciája (Frek.) és abundanciája (Abu.). A madárfajok elrendezése taxonómiai csoportosítást követ. OL=odulakó, NOL=nem odulakó, R=ritka, Gy=gyakori.

Magyar név	Latin név	Fészkelési hely	Gyakoriság	Frek.	Abu.
Kék galamb	<i>Columba oenas</i>	OL	R	4	5
Örvös galamb	<i>Columba palumbus</i>	NOL	GY	12	12
Vadgerle	<i>Streptopelia turtur</i>	NOL	GY	3	3
Nyaktekercs	<i>Jynx torquilla</i>	OL	R	1	1
Hamvas küllő	<i>Picus canus</i>	OL	R	1	1
Zöld küllő	<i>Picus viridis</i>	OL	R	2	2
Fekete harkály	<i>Dryocopus martius</i>	OL	R	9	9
Nagy fakopáncs	<i>Dendrocopos major</i>	OL	GY	18	18
Kis fakopáncs	<i>Dryobates minor</i>	OL	R	2	2
Ökörszem	<i>Troglodytes troglodytes</i>	NOL	R	7	8
Vörösbegy	<i>Erithacus rubecula</i>	NOL	GY	30	52
Fekete rigó	<i>Turdus merula</i>	NOL	GY	13	15
Énekes rigó	<i>Turdus philomelos</i>	NOL	GY	30	46
Léprigó	<i>Turdus viscivorus</i>	NOL	R	8	11
Barátposzáta	<i>Sylvia atricapilla</i>	NOL	GY	14	20
Csilpcsalpfüzike	<i>Phylloscopus collybita</i>	NOL	GY	17	20
Fitiszfüzike	<i>Phylloscopus trochilus</i>	NOL	R	2	2
Sárgafejű királyka	<i>Regulus regulus</i>	NOL	R	2	2
Tüzesfejű királyka	<i>Regulus ignicapillus</i>	NOL	R	1	1
Örvös légykapó	<i>Ficedula albicollis</i>	OL	R	4	5
Őszapó	<i>Aegithalos caudatus</i>	NOL	GY	1	1
Barátcinege	<i>Poecile palustris</i>	OL	R	13	14
Kék cinege	<i>Cyanistes caeruleus</i>	OL	GY	20	26
Búbos cinege	<i>Lophophanes cristatus</i>	OL	R	1	1
Fenyvescinege	<i>Periparus ater</i>	OL	R	5	6
Szénecinege	<i>Parus major</i>	OL	GY	26	39
Csuszka	<i>Sitta europaea</i>	OL	GY	14	14
Hegyi fakusz	<i>Certhia familiaris</i>	OL	R	16	18
Rövidkarmú fakusz	<i>Certhia brachydactyla</i>	OL	GY	3	4
Sárgarigó	<i>Oriolus oriolus</i>	NOL	GY	6	6
Seregély	<i>Sturnus vulgaris</i>	OL	GY	2	2
Erdei pinty	<i>Fringilla coelebs</i>	NOL	GY	33	73
Meggyvágó	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	NOL	GY	10	10

Mivel e vizsgálat során az volt a célunk, hogy feltárjuk az erdei madarakat közösség szinten befolyásoló környezeti változókat, az elemzésekhez megpróbáltunk olyan madár-változókat választani, amelyek jól, és lehetőleg sokoldalúan jellemzik az erdei madárközösségeket. Egyrészt kiszámoltuk az erdei madarak faj- és egyedszámát, másrészt néhány kiválasztott funkcionális csoport faj- és egyedszámait. Funkcionális csoportjainkhoz fészkelési hely, illetve gyakoriság alapján csoportosítottuk a vizsgált madárfajokat. Az odúlakó madárfajok esetében az elsődleges és másodlagos odúlakókat összevontuk, mivel e két csoport szorosan kapcsolódik egymáshoz, azonban ez esetben külön-külön olyan kevés faj, illetve egyed alkotta őket, amely statisztikailag nem tette lehetővé korrekt elemzésüket külön-külön, a választott módszerrel legalábbis. Hasonló okokból a lombkoronában és a talajon költő madárfajokat is összevonva kezeltük nem odúlakó madárfajok néven, illetve azért is, mert e két csoport több faj esetében nem válik el élesen egymástól (ilyenek például a vörösbegy - *Erithacus rubecula*, vagy az ökörszem - *Troglodytes troglodytes*). A gyakoriság alapján történő csoportosítás, ahogyan az előző két bemutatott munka esetében is, a hazai állomány nagyságok alapján történt (MME/Birdlife Hungary 2018), azokat a madárfajokat tekintettük ritkának, amelyek becsült hazai állománya kisebb, mint 100 000 költőpár, mivel tapasztalataink alapján ez a mesterséges határérték elég jól elválasztja a sérülékenyebb, specialista fajokat a kevésbé érzékeny, generalista erdei madárfajoktól.

5.2.4. Adatelemzés

A madárközösségek fajösszetételében megfigyelhető szabályszerűségek feltárásához különböző ordinációs módszereket alkalmaztam: főkomponens-elemzést (principal component analysis=PCA), detrendált korrespondencia elemzést (detrended correspondence analysis=DCA) és direkt ordinációs módszerként redundancia analízist (redundancy analysis=RDA) (Podani 2000). Azokat a madárfajokat, amelyek kevesebb, mint három mintaterületünkön fordultak elő, kizártam az elemzésből. A háttérváltozókat azok szórásával standardizáltam. A főkomponens-elemzés azt mutatta, hogy sem mintaterületeink, sem madár adataink nem aggregáltak, ezért a fent felsorolt ordinációs módszerek megfelelnek az adatstruktúra feltárására. Mivel a DCA alapján az ordinációs tengelyek mentén megjelenő gradiensek rövidebbnek bizonyultak, mint 2,5 standard szórás egység, a fajok lineáris illeszkedését feltételező redundancia analízist használtam a háttérváltozók és a fajok direkt ordinációs elemzéséhez (ter Braak & Šmilauer 2002; Lepš & Šmilauer 2003). A tényleges

modellszelekció előtt a potenciális háttérváltozók közül (6. táblázat) előzetes kézi szelekcióval választottam ki a madárközösség összetételére szignifikánsan ható háttérváltozókat. E válogatás során páronként vizsgáltam a háttérváltozók egymás közötti korrelációit (ezeket lásd a 8. táblázatban), és az egymással erősen korreláló háttérváltozók közül ($r > 0,5$, Spearman-féle korreláció) minden esetben csak egyet választottam ki a modellszelekció számára. A háttérváltozók hatását Monte-Carlo szimulációval teszteltem (F-próba, 499 permutáció). Mivel a háttérváltozók által magyarázott varianciák viszonylag kicsinek adódtak, az általunk elvárt minimális szignifikancia-szint 0,1 volt (ter Braak & Šmilauer 2002). A kanonikus tengelyek szignifikanciáját is ugyanilyen módon teszteltem (Monte-Carlo szimuláció, F-próba).

A madárközösség vizsgált változói (a teljes erdei madárközösség és a vizsgált négy funkcionális csoport faj- és egyedszámai) és a bevont környezeti változók (6. táblázat) közötti kapcsolatokat általános lineáris modellek (Faraway 2005, 2006) segítségével tártam fel. A modellek építése során Gauss-féle hibaeloszlást feltételeztünk. A fajsám jellegű függő-változók esetében a Poisson eloszlást alkalmazó modelleket is teszteltem, azonban azoknak mind a diagnosztikai ábrái, mind a varianciafedései rosszabbak voltak, ezért végül az itt bemutatott modellek mind Gauss-féle normál eloszlást feltételeznek. Ahol szükséges volt, ott mind a függő-, mind a háttérváltozóinkat logaritmizáltam, hogy normalizáljam azok eloszlását, és javítsam a modellek magyarázó erejét. A modellek építését a háttérváltozók előzetes vizsgálata és válogatása előzte meg: A madár- és környezeti változóink között páronként vizsgáltam azok korrelációit (ezeket a mellékletekben található M/1. táblázat tartalmazza), illetve ábrázoltuk azok összefüggéseit. Úgyszintén megvizsgáltam a háttérváltozók egymás közötti korrelációit (a mellékletekben közreadott M/2. táblázat), hogy lehetőség szerint minimalizálni tudjam modelljeinkben a kollinearitást. Végül a modellszelekció során csak olyan háttérváltozókkal dolgoztam, amelyek szignifikáns korrelációt mutattak a vizsgált függő-változóval ($r > 0,1$, Spearman-féle korreláció), szórásgörbéjük nagyjából egyenes, és korrelációjuk a többi elemzésbe vont háttérváltozóval viszonylag mérsékelt ($r < 0,5$, Spearman-féle korreláció). Ez utóbbi feltételnek oly módon tudtam eleget tenni, hogy az egymással erősen korreláló háttérváltozók közül, amennyiben korrelációt mutattak egy adott függő-változóval, minden esetben csak a leginkább ígéreteset választottam ki. Az előzetes modellszelekció során végül az egyes függő-változók esetében jellemzően 5-8 háttérváltozót választottam ki, és használtam a modellszelekció során. A modellek építése a 'backward selection' módszerrel zajlott, melynek során a teljes modelltől egyesével eltávolítottam a leggyengébb hatású háttérváltozót egészen addig, ameddig megtaláltam a

legkisebb adekvát modellt. Az alternatív modellek közötti választás az Akaike Információs Kritérium (AIC, Faraway 2006) értékei alapján történt. Végül a modellben maradt háttérváltozók hatásának relatív nagyságát a modellben deviancia elemzéssel (F-teszt, ANOVA) vizsgáltam, és azokat, amelyek nem járultak hozzá szignifikánsan a modellek magyarázó erejéhez, úgyszintén kizártam. A kész modelleknél utólag minden esetben vizsgáltam a reziduálisok normalitását és homogenitását, hogy kiszűrjem, ha egy modell statisztikailag nem megfelelő. Úgyszintén ellenőriztem a reziduálisok térbeli autokorrelációját 1-7 km között, e vizsgálathoz a Moran I korrelációs koefficienseket használtam (Moran 1950; Borcard et al. 2011). A reziduálisok nem mutattak térbeli autokorrelációt egyik modell esetében sem, vagyis a Moran I értékek nem különböztek szignifikánsan nullától, illetve nem találtam kimutatható trendet értékeikben a vizsgált térbeli tartomány mentén.

Sokváltozós elemzéseinket a Canoco for Windows 4.5 programmal végeztem (ter Braak & Šmilauer 2002). Az általános lineáris modellekhez és az elemzések során szükséges leíró statisztikákhoz az R 3.0.2 verzióját használtam (R Core Team 2013). A térbeli autokorrelációk vizsgálatát az 'spdep' kiegészítő csomaggal végeztem (Bivand & Piras 2015).

5.3. Eredmények

35 mintaterületünkön a madár-felmérés során összesen 37 madárfaj 857 egyedét jegyeztem fel (7. táblázat). Mintaterületenként átlagosan 9,4 madárfaj (tartomány: 5-19) 12,8 egyedét (tartomány: 6-23) figyeltem meg. Egy-egy vizsgált madárcsoport faj- és egyedszámai erősen korreláltak egymással ($r=0,90$ az összes erdei madár, $r=0,94$ az odúlakó madarak, $r=0,82$ a nem odúlakó madarak, $r=0,87$ a gyakori madarak és $r=0,97$ a ritka madarak esetében). Mivel mind a modellek magyarázó ereje, mind a ható háttérváltozók relatív fontossága számottevő különbségeket mutatott az összetartozó fajszám, illetve egyedszám modellekben, végül a vizsgált madárcsoportok esetében mindkét modellt közlöm.

5.3.1. Madárközösség fajösszetételét meghatározó környezeti változók

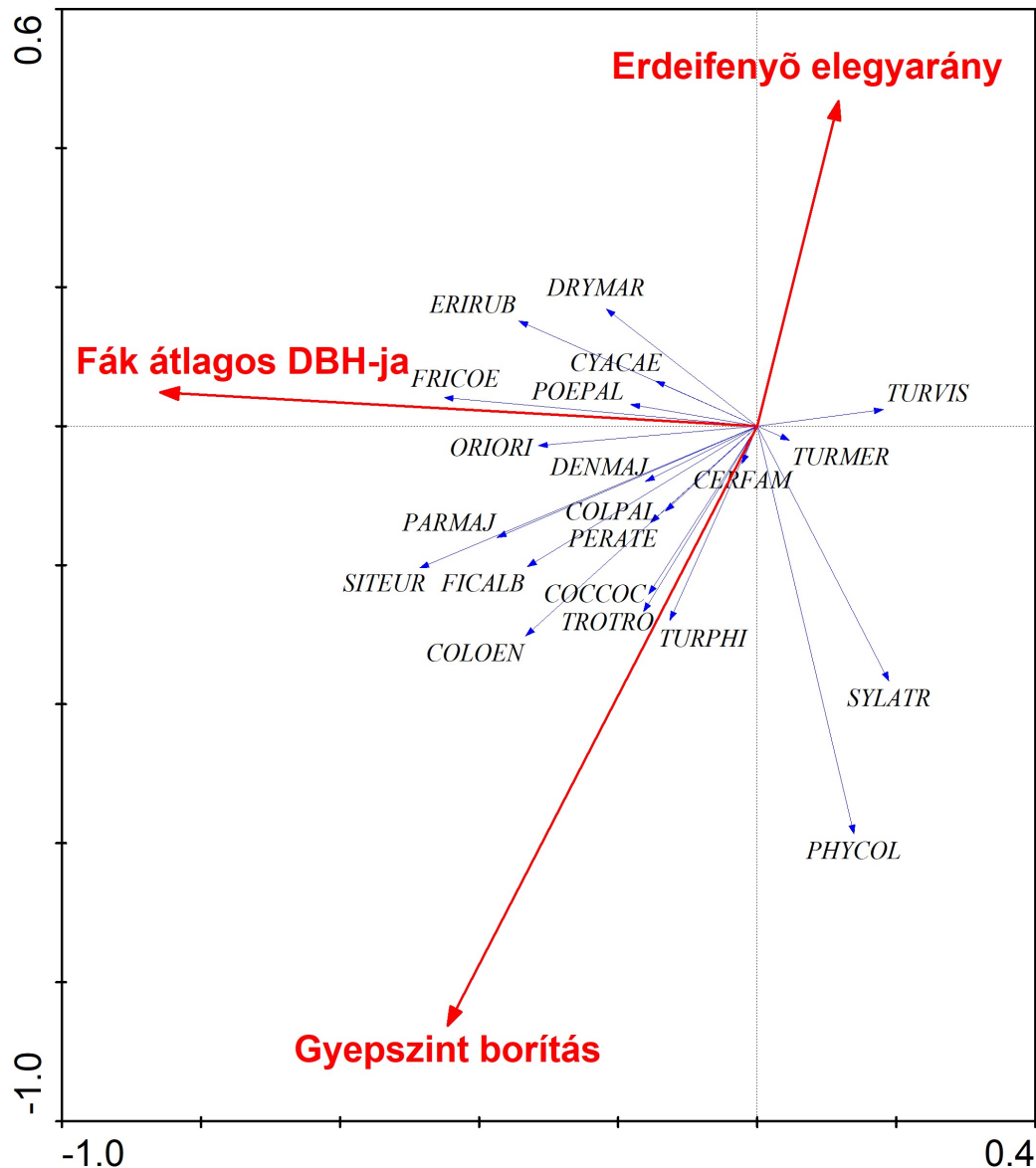
A főkomponens-analízis (PCA) első három kanonikus tengelye a fajösszetétel variáciájának 45,1%-át magyarázta, a redundancia analízis (RDA) háttérváltozók segítségével képzett első három kanonikus tengelye pedig annak 15,8%-át (8. táblázat, 5. ábra). A madárközösség fajösszetételét legerőteljesebben befolyásoló háttérváltozó a fák

átlagos mellmagassági átmérője, emellett kisebb, de szintén szignifikáns hatását találtuk még a gyepszint borításnak és az erdeifenyő elegyarányának is. Az RDA első tengelye leginkább a fák átlagos mellmagassági átmérőjével mutatott erős, és negatív korrelációt, amíg a második tengely a gyepszint borítással korrelált negatívan, az erdeifenyő elegyarányával pedig pozitívan. Ugyan háttérváltozóink csak meglehetősen kicsi részét magyarázzák a fajösszetétel varianciájának, azonban a feltárt összefüggések számos madárfaj helyzetét igen jól magyarázzák az első két kanonikus tengely mentén. Figyelemre méltó, hogy az összes elsődleges (nagy fakopáncs – *Dendrocopos major*, fekete harkály – *Dryocopus martius*) és másodlagos (hegyi fakusz – *Certhia familiaris*, kék galamb – *Columba oenas*, örvös légykapó – *Ficedula albicollis*, fenyvescinege – *Periparus ater*, széncinege – *Parus major*, barátcinege – *Poecile palustris*, kék cinege – *Cyanistes caeruleus*, csuszka – *Sitta europaea*) odúlakó madárfaj az első kanonikus tengely negatív oldalán helyezkedik el, hiszen ezeknek a madárfajoknak nagy fákra van szükségük a költéshez, és legtöbbjüknek a táplálkozáshoz is. Számos rigó, poszáta és füzike (csilpcsalpfüzike – *Phylloscopus collybita*, barátposzáta – *Sylvia atricapilla*, feketerigó – *Turdus merula*, énekes rigó – *Turdus philomelos*) pedig a második kanonikus tengely negatív oldalán található, mutatván, hogy e fajok a gazdagabb alsóbb szinttel rendelkező állományokban találják meg életfeltételeiket. Figyelemre méltó, hogy az elemzésben szereplő madarak közül nincs egyetlen faj sem, amely mind az első, mind a második tengelyen a pozitív értékek irányában helyezkedne el. E tény összefüggésben állhat azzal a megfigyelésünkkel, hogy az erdei fenyő elegyaránya negatív összefüggést mutat a vizsgálatban szereplő madárfajok túlnyomó többségével. Emellett a vizsgált madárfajok gyakorlatilag mindegyike pozitív kapcsolatot mutatott vagy az átlagos famérettel, vagy a gyepszint borításával, egyes fajok pedig mindkettővel.

8. táblázat. Redundancia-analízisben szereplő háttérváltozók. Az első három kanonikus tengely a madárközösségek fajösszetételének 15,8%-át magyarázta (szignifikáns RDA, $F=1,877$, $p=0,001$). A táblázatban a modellbe került háttérváltozók által magyarázott variancia és a háttérváltozók hozzájárulásának szignifikancia-tesztje (F-próba F és p értéke) található.

	Variancia (%)	F-érték	p
Fák átlagos DBH-ja	6,3	2,30	0,008
Gyepszint borítás	4,7	1,74	0,043
Erdeifenyő elegyarány	3,9	1,47	0,098

5. ábra. Redundancia analízis első két tengelyének biplot ábrázolása, az ábrán az elemzésben szereplő madárfajok és a modellbe került magyarázó háttérváltozók láthatók. A könnyebb áttekinthetőség miatt a madárfajokat hat betűs HURING-kódjaikkal jelöltük, amelyek a madárfajok nemzetség- és fajneveinek első 3-3 betűiből tevődnek össze (a vizsgálat során megfigyelt madárfajok latin neveit a 7. táblázat tartalmazza).



5.3.2. Madárközösség faj- és egyedszámait meghatározó környezeti változók

A madárközösség faj- és egyedszámai és a környezet közötti kapcsolatokat feltáró modellek főbb paramétereit a 9. táblázat tartalmazza. A modellek magyarázó ereje igen változó, függő-változóink varianciájának 20-60%-át fedik le. A vizsgált madársoportoknál szinte minden esetben ugyanazok a háttérváltozók bizonyultak sikeresnek a faj- és egyedszámok modellezésében, azonban a modellek magyarázó ereje (módosított

determinációs együttható= R^2) számottevően (átlagosan 15%-kal, lásd 8.. táblázat) nagyobb az egyedszámok esetében.

Vizsgálatom alapján az Őrségben a fák átlagos körfogatának volt a legnagyobb, pozitív hatása az erdei madárközösség faj- és egyedszámára egyaránt, emellett azonban úgyszintén szignifikáns, pozitív hatását találtuk még e két kiemelten fontos madárközösség-változóra a gyepszint borításának és a holtfa mennyiségének is. Elemzéseim alapján e három környezeti változó befolyásolta leginkább az erdei madárközösségek gazdagságát, azonban fontosságuk az egyes vizsgált madárcsoportok esetében szélsőségesen eltért. E három háttérváltozó mellett, jóval kisebb súllyal, de egyes csoportok számára egyéb háttérváltozók is fontosnak bizonyultak, például a talaj borítás a nem odúlakó madarak, illetve a tölgy elegyarány mind a gyakori, mind a ritka erdei madarak esetében.

Az odúlakó fajok számára a fák átlagos mérete és a holtfa mennyisége bizonyult erős, pozitív hatású háttérváltozónak. Ezzel szemben a nem odúlakó fajok esetében e háttérváltozók egyáltalán nem, azonban a gyepszint és talaj borítása pozitív összefüggést mutatott azok faj- és egyedszámával.

A gyakori erdei madarak faj- és egyedszáma is erős, pozitív összefüggést mutatott a fák átlagos mellmagassági átmérőjével és a gyepszint borításával, ezek mellett szintén pozitív, de jóval gyengébb hatását találtuk még a tölgyek elegyarányának is. A ritka erdei madarak számára azonban a holtfa térfogata tűnt az erdei környezet általunk mért jellemzői közül a leginkább fontos, pozitív hatású változónak. Emellett pozitív összefüggést találtunk a ritka fajok előfordulása és a fák átlagos mérete (bár ez az összefüggés jóval gyengébb, mint a gyakori erdei madarak esetében), és éppen kimutatható negatív összefüggést a ritka erdei madarak és a tölgy elegyarány között. Ez utóbbi összefüggés azért is érdekes, mert ilyen módon a tölgyek elegyaránya az egyetlen a vizsgált háttérváltozóink közül, amely ellentétes módon hat két vizsgált madárcsoport esetében.

9. táblázat. Általános lineáris modellek és a bennük szereplő háttérváltozók. A táblázatban közöljük a bemutatott modellek által magyarázott összes varianciát (módosított determinációs együttható= R^2), a modellekbe bekerült háttérváltozókat fontossági sorrendben, azok hatásának előjelét (Írány), a hatás nagyságát (Variancia), és szignifikancia szintjét (F-próba, $n=35$, $^{\circ}$ $p<0,1$; * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$).

Magyarázó háttérváltozók	Írány	Var. (%)	Magyarázó háttérváltozók	Írány	Var. (%)
Erdei madarak egyedszáma; $R^2=0,590$			Erdei madarak fajsza; $R^2=0,397$		
Fák átlagos DBH-ja	+	29,4***	Fák átlagos DBH-ja	+	19,5**
Gyepszint borítás	+	19,5***	Gyepszint borítás	+	13,7*
Holtfa térfogat	+	10,0**	Holtfa térfogat	+	6,5 $^{\circ}$
Odúlakó madarak egyedszáma; $R^2=0,567$			Odúlakó madarak fajsza; $R^2=0,429$		
Fák átlagos DBH-ja	+	38,0***	Fák átlagos DBH-ja	+	26,5***
Holtfa térfogat	+	18,7***	Holtfa térfogat	+	16,3***
Nem odúlakó madarak egyedszáma; $R^2=0,364$			Nem odúlakó madarak fajsza; $R^2=0,189$		
Gyepszint borítás	+	28,2***	Gyepszint borítás	+	18,9**
Talaj borítás	+	8,1 $^{\circ}$			
Gyakori madarak egyedszáma; $R^2=0,501$			Gyakori madarak fajsza; $R^2=0,288$		
Fák átlagos DBH-ja	+	23,8***	Fák átlagos DBH-ja	+	15,6*
Gyepszint borítás	+	21,0**	Gyepszint borítás	+	13,2*
Tölgy elegyarány	+	5,4 $^{\circ}$			
Ritka madarak egyedszáma; $R^2=0,350$			Ritka madarak fajsza; $R^2=0,298$		
Holtfa térfogat	+	12,0*	Holtfa térfogat	+	11,8*
Fák átlagos DBH-ja	+	9,6*	Tölgy elegyarány	-	11,0*
Tölgy elegyarány	-	7,9 $^{\circ}$	Fák átlagos DBH-ja	+	6,9 $^{\circ}$

5.4. Eredmények megvitatása

5.4.1. A környezet vizsgált jellemzőinek relatív fontossága az erdei madárközösség gazdagságára nézve

Háttérváltozóink magyarázó ereje sokkal nagyobbak bizonyult az általános lineáris modellek, mint a redundancia analízis esetében. Feltételezésem szerint ennek részben az lehet az oka, hogy a számos, elemzésben szereplő madárfaj sok egyedi igényét igen nehéz a redundancia analízis kettő, esetleg három megjeleníthető tengelyébe sűríteni. Ezzel szemben az általános lineáris modellek esetében a csoportszintű madárközösség-változók elfedhették a

madárfajok egyedi idényeit, így lehetőség nyílt a madárközösség egésze szempontjából leginkább lényeges környezeti változók feltárására.

Elemzéseim alapján úgy tűnik, a felszínborítási típusok arányának ez esetben nincs kimutatható hatása az erdei madárközösség vizsgált csoportjaira nézve. Ugyan a táj összetételét számos kutatás találta legalább annyira fontosnak a madarak számára, mint az erdőállományt leíró háttérváltozókat, az Őrségben ez az eredmény mégsem túl meglepő. E táj erdősültsége igen magas, márpedig az irodalmi adatok egyértelműen azt mutatják, hogy a táj összetétele leginkább olyankor fontos az erdei madarak számára, amikor a potenciális élőhely aránya a tájban alacsony (Hagan & Meehan 2002; Batáry et al. 2010). Ezzel szemben a potenciális élőhelyek magas aránya esetén inkább azok minősége a meghatározó az erdei madarak számára. Természetesen az egyes felszínborítási típusok arányán túl hathatnak még az erdei madárközösségre ezen élőhelytípusok elhelyezkedének egyéb jellemzői is (például az élőhelyfolt mérete, elszigeteltsége vagy a széli hatás, lásd Andrén & Anglestam 1988; Moskát & Báldi 1999; Terraube et al. 2016), azonban egy ennyire magas erdősültségű táj esetén azt valószínűsítem, hogy e jelenségek hatása nem számottevő, ezért e munkában ezeket a jelenségeket nem is vizsgáltam.

Az elemzésbe vont igen egyszerű tájtörténeti háttérváltozóknak szintén úgy tűnik, hogy nincs kimutatható hatásuk az erdei madárközösségre nézve. Ez az eredmény jól összecseng a madarak azon tulajdonságával, miszerint kifejezetten válaszképes csoportról van szó, amely igen gyorsan és hatékonyan képes kolonizálni az újonnan megjelenő alkalmas élőhelyeket (Gregory et al. 2004) – ellentétben például a legtöbb növénnel és számos állatfajjal (lásd például Ehrlén & Eriksson 2000; Fournier & Loreau 2001; Endels et al. 2004; Kelemen et al. 2014). Könnyen elképzelhető azonban, hogy a tájtörténetnek közvetve mégis lehet hatása az erdei madárközösségre, amennyiben az hosszú távon is hathat az erdőállományok szerkezetére, vagy fafajösszetételére.

A legtöbb témával kapcsolatos kutatás eredményeivel egyetértésben (MacArthur & MacArthur 1961; Fuller 1995; Muller et al. 2010) én is úgy találtam, hogy az erdei madárközösség gazdagságával leginkább a vizsgált erdők szerkezeti jellemzői mutatnak határozott összefüggést, bár ezek mellett az erdőállományok fafajösszetételének is találtam egy kis hatását. A vizsgált mintaterületek mindkettő változócsoporthoz szempontjából meglehetősen nagy változatosságot mutatnak. Mindemellett azonban szeretném kiemelni, hogy az erdőállományoknak e kettő vizsgált változócsoporthoz kölcsönösen összefügg egymással (Moskát et al. 1988; Hewson et al. 2011), így a fafajösszetétel – a faállományra

való hatásán keresztül – legalábbis indirekt módon, valószínűleg mégis hat az erdei madárközösségre.

5.4.2. Az erdei madárközösség gazdagságával összefüggő erdőszerkezeti változók

Elemzéseim alapján a vizsgált számos háttérváltozó közül csak viszonylag kevés mutatott kapcsolatot az erdei madárközösség gazdagságával. Eltekintve egy-két olyan háttérváltozótól, amelyek a madárközösségnek csupán egyes csoportjaival mutattak gyengébb kapcsolatokat (talaj borítás a talajlakók esetében, és a tölgyek elegyaránya néhány egyéb madárcsoportnál), úgy tűnik, a vizsgált erdőállományok madárközössége elsősorban három erdőszerkezeti változóval mutat összefüggést: a fák átlagos mellmagassági átmérőjével, a gyepszint borításával és a holtfa mennyiségével. E háttérváltozók magyarázzák legjobban az erdei madárközösség összes faj- és egyedszámát, illetve a madárközösség egyes vizsgált funkcionális csoportjainak gazdagságát úgyszintén. Figyelemre méltó módon e három háttérváltozó pozitív kapcsolatot mutat a madárközösség összes vizsgált változójával, azonban e kapcsolatok erőssége szélsőségesen különbözik az egyes esetekben.

Mintaterületeinken a vizsgált háttérváltozók közül legnagyobb hatása egyértelműen a fák átlagos mellmagassági átmérőjének volt az erdei madárközösség gazdagságára. Az erdőt alkotó fák méretének fontossága az erdei madarak számára jól ismert (lásd például Anglestam & Mikusiński 1994; Donald et al. 1998; Hewson et al. 2011), azonban az, hogy ez a háttérváltozó ennyire fontosnak bizonyult, ebben az esetben kicsit meglepő, mivel mintaterületeink eleve viszonylag idős, 70 év feletti erdőkől állnak. Az évszázadok óta jelen levő kisparaszti szálaló gazdálkodással összefüggésben, ebben a régióban jellemző a teljesen kifejlett faegyedek viszonylagos hiánya (Tímár et al. 2002), és e jelenség részben magyarázhatja e háttérváltozó fontosságát. A fák mérete valószínűleg azért ilyen fontos az erdei madarak számára, mivel a fák növekedésével mind az azokon élő gerinctelenek (azon belül is elsősorban a rovarok) mennyisége (Lencinas et al. 2008; Bereczki et al. 2014), mind például a költésre alkalmas természetes odúk száma (Remm & Löhmus 2011) gyorsuló mértékben növekszik. Az utóbbi szerkezeti elem jelentőségét hangsúlyozza az a tény is, hogy a fák átlagos méretével a vizsgált madárcsoportok közül az odúlakó madarak mutatták a legszorosabb összefüggést.

Modelljeim alapján úgy tűnik, hogy a vizsgált háttérváltozók közül a gyepszint borítása a második legfontosabb jellemző az erdei madárközösségek számára. Az alsóbb szintek fejlettségének fontossága az erdei madarak számára jól ismert. Számos publikáció talált összefüggést a cserjeszint megléte és az erdei madárközösség gazdagsága között (például Moskát & Fuisz 1992; Hagan & Meehan 2002; Melles et al. 2003; Fernandez-Juricic 2004; Wilson et al. 2006), azonban a gyepszint fontosságát bizonyító munka (mint például Donald et al. 1998; Hewson et al. 2011) sokkal kevesebb. Mivel a gyakori erdei madárfajok közül jó néhány (például füzikék, poszták, vörösbegy, ökörszem, egyes rigófajok) költ és/vagy táplálkozik a talajon, illetve annak közvetlen közelében, a gyepszint fontossága érthető. A vizsgált madárcsoportok közül e háttérváltozó valóban a nem odúlakó madárfajok esetében bizonyult a leginkább meghatározónak, amely csoport gyakorlatilag a fent felsorolt összes madárfajt magában foglalja. Modelljeimnek az az eredménye azonban, miszerint jelen elemzés alapján a cserjeszint egyáltalán nem mutat összefüggést az erdei madárközösség gazdagságával, eléggé meglepő számomra, mivel a vizsgált madárfajok közül jó néhány itt táplálkozik, néhány pedig fészket is előszeretettel építi a cserjeszintben. Elképzelhetőnek tartom, hogy a gyepszint részben egy indirekt hatásnak köszönhetően bizonyult fontosnak az erdei madárközösség azon csoportjai számára, amelyek jellemzően az erdő alsóbb szintjein mozognak. Az ŐrsErdő projekt keretein belül a vizsgált erdőállományok fényviszonyainak felmérésére is sor került (lásd Tinya et al. 2009), bár a fényviszonyokat jellemző változókat én a madárközösség igényeinek elemzése során nem használtam háttérváltozóként, mivel azok, feltételezésem szerint, legfeljebb közvetve hatnak az erdei madarakra. Azok a madárfajok, amelyek az alsóbb szintekhez kötődnek, valószínűleg elsősorban a lombzat heterogenitására és sűrűségére érzékenyek ezeken a szinteken, amely elsősorban a lombkoronaszint nyitottságával, és ezzel összefüggésben az alsóbb szintekre jutó fény mennyiségével áll kapcsolatban. Elképzelhetőnek tartom, hogy a gyepszint borítása azért bizonyult ilyen fontosnak az erdei madárközösség számára, mivel jó indikátora a lombzat mennyiségének az alsóbb szinteken (amellett, hogy önmagában is fontos számos madárfaj számára). Ezt az elképzelést látszik alátámasztani, hogy mintaterületeinken a gyepszint borítása erős és szignifikáns korrelációt mutat a mellmagasságban mért átlagos szórt fénymennyiséggel ($r=0,52$, $p=0,001$, Spearman-féle korreláció), a cserjeszint borítása azonban nem ($r=0,19$, $p=0,283$, Spearman-féle korreláció, Tinya et al. 2009). Amíg a cserjeszintet az erdőgazdálkodás sokszor igen erőteljesen befolyásolja (Tímár et al. 2002), addig a lombmennyiség az alsóbb szinteken (amelyet részben nem a cserjék, hanem a közeli fák alsóbb ágai adnak) érzékenyen reagálhat a fény mennyiségére, a gyepszinthez hasonlóan. E

feltételezésem alátámasztása ugyan még további kutatásokat igényel, azonban amennyiben helyesnek bizonyul, a gyepszint igen hasznos indikátora lehet az erdei környezet minőségének.

A harmadik erdőszerkezeti jellemző, amely, ugyan kisebb, de szintén kimutatható hatással volt az őrségi erdők madárközösségeire, a holtfa mennyisége. E szerkezeti elem fontossága jól dokumentált a harkályok, és néhány egyéb (elsősorban másodlagos odúlakó) madárfaj esetében (Anglestam & Mikusiński 1994; Rosenvald et al. 2011). Figyelemreméltó, hogy modelljeim alapján a holtfa szerepe viszonylag kicsi az egész erdei madárközösség esetében, ezzel szemben ez bizonyult a legfontosabb magyarázó változónak a ritka erdei madárfajok esetében. Így aztán, annak ellenére, hogy a holtfa mennyiségének találtam legkisebb magyarázó erejét a három fontosnak bizonyuló szerkezeti elem közül, mégis úgy tűnik, hogy éppen ez lehet az egyik kulcs-elem az érzékenyebb erdei fajok védelme során. Megfordítva e gondolatmenetet, az a tény, hogy a holtfához kötődő erdei madárfajok közül számos faj ritka, arra utalhat, hogy talán az egyik fő korlátja hazai elterjedésüknek (például hamvas küllő – *Picus canus*, zöld küllő – *Picus viridis*, fekete harkály – *Dryocopos martius*, kis fakopáncs – *Dryobates minor*, vagy a közép fakopáncs – *Leiopicus medius* – utóbbi faj annyira ritka, hogy nem is találkoztam vele mintaterületeinken). Bár elképzelhető az is, hogy ez az összefüggés részben műtermék, vagyis e szerkezeti elem azért jó előrejelzője a ritka fajok mennyiségének, mivel összefügg az erdő természetességével, így a sok holtfa a jó ökológiai állapot indikátora lehet. Magyarországon viszonylag kevés adat áll rendelkezésre az erdőkben található holtfa mennyiségéről, de az általunk vizsgált erdőrészekben csupán az ezekre az erdőtípusokra jellemző holtfamennyiség (Hanski & Walsh 2004; Christensen et al. 2005) 20-40%-át találtuk, ezért valóban nem lenne meglepő, ha e szerkezeti elem mennyisége korlátozólag hatna az erdei madarak erre érzékeny csoportjaira.

Modelljeim alapján úgy tűnik, hogy egy-egy madárcsoport faj- illetve egyedszámai jellemzően nagyjából ugyanazokkal a háttérváltozókkal mutatnak összefüggést, ami nem meglepő, hiszen egyazon madárcsoport faj- és egyedszáma nagyon erősen korrelál egymással. Azonban a modellek azt mutatják, hogy a madárcsoportok egyedszámai kimutathatóan jobban magyarázhatók háttérváltozóinkkal. Ennek oka valószínűleg elsősorban az, hogy az ebben a kutatásban vizsgált, még mindig viszonylag egyszerű háttérváltozók elsősorban a madarak számára elérhető táplálék mennyiségére hatnak, és ezen keresztül befolyásolják az erdő által eltartott madarak mennyiségét (Holmes & Schultz. 1988; Bereczki et al. 2014). Könnyen elképzelhetőnek tartom, hogy a fajszám jellegű madárközösség-változókat azért magyarázzák következetesen rosszabbul háttérváltozóink, mivel az érzékenyebb erdei specialista

madárfajok egyedi igényeit a vizsgált háttérváltozók nem képesek olyan jól kifejezni. Ezzel szemben az abundancia jellegű madárközösség-változóban a gyakori fajok, amelyeknek kevesebb a speciális igényük, nagyobb súllyal szerepelnek (hiszen ezek mindig számottevő részét adják a jelen levő madár-egyedeknek, lásd 7. táblázat). Ráadásul e munka során az erdei madárközösséget meghatározó háttérváltozók megtalálása állt érdeklődésem középpontjában, így az egyes madárcsoportok esetében, a közösség szinten is fontos háttérváltozók könnyen elfedhették a ritkább fajok speciális igényeit.

Elemzéseim arra is rámutattak, hogy az erdei madárközösség egyes csoportjai számára az erdei környezet teljesen más jellemzői bizonyultak meghatározónak. Éppen ezért, amennyiben kutatóként az erdei madárközösség és az élőhelyük kapcsolatát vizsgáljuk, kifejezetten megtévesztő eredményre vezethet, amennyiben az összes fajszámot használjuk az erdei madárközösség gazdagságának egyedüli mérőjeként (ahogyan ez sajnos elég gyakran előfordul). Mivel az összes faj- illetve egyedszám egyedüli vizsgálata könnyen elfedheti egyes csoportok igényeit, ezek mellett mindenképpen indokolt néhány funkcionális csoport vizsgálata is (a témáról lásd még részletesebben Mag et al. 2011).

5.4.3. Következtetések a természetvédelmi és erdőgazdálkodó szakemberek számára

Eredményeim alapján úgy tűnik, hogy az erdei madárközösség egyes csoportjai számára az erdőszerkezet teljesen különböző jellemzői meghatározók. Éppen ezért táji szinten úgy őrizhető meg az erdei madárközösségek diverzitása, ha az erdőgazdálkodás törekszik a kezelt állományok szerkezeti sokféleségének támogatására. A jelenleg elterjedt vágásos erdőgazdálkodás keretein belül a véghasználat elnyújtása és hagyásfa csoportok minél nagyobb arányú megtartása segítheti az erdei madarak védelmét, mivel e változtatások az erdőgazdálkodási gyakorlatban elősegíthetik az idős fák és a holtfa mennyiségének növekedését erdeinkben. Eredményeimből az is jól látható, hogy az erdei madarak legtöbb csoportja számára az erdei környezet több szerkezeti jellemzője is fontos (például nagy fákra és sűrű aljnövényzetre is szükségük van egyszerre). Az utóbbi években hazánkban is egyre szélesebb körben terjedő, folyamatos erdőborítást biztosító gazdálkodási módok nagyobb eséllyel képesek ezeket a szerkezeti elemeket egyszerre biztosítani viszonylag kis térléptékben, ilyen módon alkalmasabbnak tűnnek arra, hogy gazdag erdei madárközösségeknek, egyben egészségesebb erdei ökoszisztémáknak adjanak otthont.

6. Eredmények megvitatása

6.1. Erdei madárközösség gazdagságával összefüggő erdőjellemzők

Magyarországon

Irodalmi áttekintésem alapján, amíg Európa-szinten az erdei madarak ökológiai igényeiről egészen sokat tudunk, Magyarországon ebben a témában már jóval kevesebb a kutatás. Nagyon úgy tűnik azonban, hogy egy-két jellemző trendet leszámítva (lásd kelet-nyugat gradiens) Európa mérsékelt övi lombhullató erdeit kis eltérésekkel nagyjából hasonló erdei madárközösségek népesítik be (Wesołowski et al. 2018), és minden okunk megvan azt feltételezni, hogy ebbe a sorba a Kárpát-medence erdeinek madárközösségei is jól beleilleszkednek. A nemzetközi publikációkból ugyan egyértelműen kirajzolódnak az erdei környezetnek azok a tulajdonságai, amelyek közösségi szinten is kapcsolatot mutatnak az erdei madarakkal, azonban e jellemzők fontossága az erdei madárközösségek gazdagságára nézve egyedi lehet, akár régiótól, jellemző erdőgazdálkodási módtól, vagy erdőtípustól függően. Doktori dolgozatomnak ebben a fejezetében megpróbálom számba venni az erdők azon jellemzőit, amelyek a nemzetközi és hazai irodalmi adatok, valamint saját munkáim alapján, összefüggést mutatnak az erdei madárközösségek gazdagságával. Ezt annak teljes tudatában teszem, hogy meglehetősen hiányos adatok alapján dolgozom, mégis érdemesnek tartom megpróbálni levonni a levonható következtetéseket, éppen az erdei madárközösségek viselkedésében Európa-szerte tapasztalható erős hasonlóságok miatt.

Erdőrészlet szinten vizsgálódva az erdei madárközösségek gazdagsága talán a leghatározottabb pozitív kapcsolatot az erdők életkorával, illetve az erdőt alkotó fák méretével mutatja. Az Országos Erdőállomány Adattár adataiból számolt változók és az erdei madárközösség közötti kapcsolat elemzése alapján egyértelműen úgy tűnik, hogy a vizsgált változók közül Magyarországon az állományok (fák méretével többé-kevésbé nyilván összefüggő) életkora az erdei madarakra legerőteljesebben ható erdőjellemző (lásd 5. táblázat). Őrségi munkámban pedig az erdőt alkotó fák átlagos mérete bizonyult a legfontosabb magyarázó háttérváltozónak (lásd 8. és 9. táblázatok), ami azért is figyelemre méltó, mivel itt már eleve csupa viszonylag idős (70 évesnél idősebb) állomány adatait elemeztem. Mindkét esetben úgy találtam, hogy ez az erdőjellemző egyrészt kiemelkedően fontos a zárterdei madárközösségek egésze szempontjából is, azonban ezen belül legerőteljesebb hatása az odúlakó madarak csoportjára van. Ezek az eredmények jól

összeesnek mind azokkal a hazai munkákkal, amelyek különböző faállomány-típusokban vizsgálták az erdei madárközösségeket azok másodlagos szukcessziója mentén (Moskát & Székely 1989; Waliczky 1991; Winkler 2005), mind a nemzetközi tapasztalatokkal (lásd például Helle & Mönkkönen 1990). Az erdők életkora annak a ténynek a fényében még fontosabbnak tűnik, hogy a hazánkban (és alapvetően Európa nagy részén úgyszintén) elterjedt vágásos gazdálkodás esetében alkalmazott vágásfordulók messze a szóban forgó fafajok biológiai életkorai alatt vannak. Természetvédelmi szempontból egyértelműen azt állíthatjuk, hogy az érzékeny, erdei specialista madárfajok számára az idős állományok kiemelkedő jelentőségűek (Fuller et al. 2007; Fuller 2012), azzal együtt is, hogy az ebben a gazdálkodási rezsimben idősnek nevezett állományok biológiai szempontból még egyáltalán nem is idősek.

A másik olyan erdőjellemző, amely a nemzetközi tapasztalatok alapján is egyértelműen erősen pozitívan hat az erdei madárközösségek gazdagságára, az erdőállományok vertikális színtezettsége. Őrségi munkám a gyepszint borításának pozitív hatását mutatta meg (lásd 8. és 9. táblázatok) az erdei madárközösségre nézve (ami egyben az állományok záródottságával, így az alsóbb szinteken található lomb mennyiségével is összefügghet), Moskát Csaba és mtsai. pedig a cserjeszint meglétének fontosságára találtak bizonyítékot (Moskát et al. 1988; Moskát & Fuisz 1992). Az alsóbb szintek gazdagsága eredetileg nagyban függ az erdőállományok fő fafajától, azonban ez is egy olyan tényező, amelyet az erdőgazdálkodók mesterségesen módosítanak, például a könnyebb áttekinthetőség, és a kompetíció csökkentése érdekében. Emellett a vágásos gazdálkodási rezsim jellemzően sokkal homogénebb záródásúállományokat hoz létre, mint amilyenek a megmaradt néhány elsődleges mérsékletövi lombhullató erdő alapján (lásd például Wesolowski 2007) azok eredeti megfelelői lehettek, ami gyakran úgyszintén gyengébben fejlett alsóbb szintekhez vezet.

Azt, hogy a holtfa mennyisége az erdőben fontos-e a teljes erdei madárközösségekre nézve, Magyarországon rajtam kívül tudtommal idáig nem nagyon vizsgálta senki, bár a harkályok, illetve odúlakó madarak és a holtfa közötti pozitív kapcsolatot hazai publikációk is alátámasztják (Szekeres 2010; Ónodi & Winkler 2014). Őrségi munkám eredményei alapján úgy tűnik, hogy a holtfa mennyisége az egész erdei madárközösség gazdagságával is pozitív összefüggést mutat (még ha ez a hatás nem is túl nagy), ezen felül pedig az odúlakó madarak és a ritka madarak csoportjai számára még inkább fontos. Amíg a holtfa fontossága az odúlakó madarak számára (mind odúkészítési-, mind pedig táplálkozóhelyként) jól ismert jelenség (lásd például Roberge et al. 2008; Czeszczewik et al. 2013; Nappi et al. 2015), arra,

hogy e szerkezeti elem az egész erdei madárközösség gazdagságára is kimutatható hatással van, jóval kevesebb példát találunk a nemzetközi publikációk között is (Fuller & Robles 2018). Különösen érdekes eredmény, hogy e vizsgálatban a holtfa mennyisége éppen a ritka erdei fajok számára bizonyult relatíve elég fontosnak. Ez könnyen lehet, hogy összefügg azzal a ténnyel, miszerint a hazai erdők túlnyomó többségében a holtfa mennyisége az erdőtípusukra elsődlegesen jellemző értékeknek általában csupán a töredéke (Hanski & Walsh 2004; Christensen et al. 2005), így könnyen az azt igénylő fajokat korlátozó forrás lehet.

A nemzetközi tapasztalatokkal összezsengő módon, az erdők fafajösszetételének, úgy tűnik, csak igen kicsi a kimutatható hatása az erdei madárközösségek gazdagságára nézve Magyarország erdeiben. Néhány olyan hazai munka létezik (Moskát et al. 1988; Moskát & Waliczky 1992; Winkler 2005), amely két-két faállomány-típus (tölgyesek és bükkösök, illetve tölgyesek és lucosok) jellemző madárközösségeit hasonlította össze, és ezekben a szerzők – úgyszintén a nemzetközi tapasztalatoknak megfelelően – azt találták, hogy az eltérő fő fafajú erdők madárközösségei gyakori fajaikban eléggé hasonlóak, a ritkább fajokban azonban akadnak eltérések. Én az Országos Erdőállomány Adattárból származtatott változók elemzése alapján (4. fejezet) úgy találtam, hogy az állományok elegyességének nem igazán volt kimutatható hatása az erdei madárközösségek gazdagságára. A faállománytípusok táji léptékű diverzitása egyes madárcsoportok esetében (például a lombkoronában és a talajon költő fajok esetében) azonban fontosnak bizonyult (lásd 5. táblázat), ami azt mutatja, hogy az erdei madarak számára a fafajösszetétel mégiscsak számít valamelyest. Elképzelhetőnek tartom sajnos, hogy az elegyesség hatását azért nem sikerült kimutatnom, mivel erdeink nagy része összességében nem túl fajgazdag, így nem igazán van vizsgálható variancia ezen erdőjellemző esetében. Az Őrségben például, amely munkának éppen az volt az egyik nagy erőssége, hogy mintaterületeink fafajösszetétel-típusok igen széles skáláját ölelték fel, két fafaj-változónak is találtam némi hatását az erdei madárközösségekre nézve, bár e hatások nem voltak túl nagyok. Úgy találtam, hogy az erdei madarak számos faja negatívan reagál az erdeifenyő jelenlétére (lásd 8. táblázat és 5. ábra), illetve azt is sikerült kimutatnom, hogy a tölgyesekhez inkább gyakori fajok köthetők (9. táblázat). Egy érdekes jelenségre szeretnék még kitérni: az Országos Erdőállomány Adattár adataiból számolt idegenhonos fafajok elegyaránya nevű háttérváltozónk, várakozással ellentétben, nem igazán mutatott egyértelmű összefüggést az erdei madárközösségek gazdagságával (4. fejezet). Magyarországon az erdők nagyjából felét különböző őshonos erdőtípusok jobb-rosszabb állapotú, de alapvetően őshonos fafajú, másodlagos megfelelői alkotják, ezzel szemben a másik felét idegenhonos fafajok – elsősorban akác és nemes nyár – ültetvényei, e jelenség

megértése egyáltalán nem lényegtelen. Amellett, hogy e fajok nem őshonosak nálunk, ezek állományai jellemzően szélsőségesen egyszerű szerkezetűek és intenzíven műveltek, ami miatt talán jogos a feltételezés, miszerint az őshonos fajok erdők képest ezek kevésbé alkalmasak gazdag erdei madárközösségek kialakulására. Elgondolkodva e jelenség lehetséges okain, az merült fel bennem, hogy talán e fajok jellemzően igen rövid vágásfordulói fedik el azok gyengébb erdei madár eltartóképességét. Ahogyan arról már volt szó korábban, egyértelműen úgy tűnik, hogy az erdők életkorának növekedésével nő azok madár faj- és egyedszáma is. Azonban e két idegenhonos faj vágaskora igen rövid, jellemzően 40 év körüli. Könnyen el tudom képzelni, hogy a hazai őshonos fajok erdők zömét kitevő tölgyesek ezekkel egykorú, de relatíve még fiatal (nagyjából talán rudas állapotú) állományainak még viszonylag szegényes madárvilága valóban összevethető a vágásérett idegenhonos ültetvényekével.

Doktori dolgozatomban elsősorban az erdők minősége és az erdei madárközösség gazdagsága közötti kapcsolatok feltárása volt a célom, azonban mégis szeretnék megemlíteni egy-két, elsősorban a táj összetétele és az erdei madárközösség gazdagsága között feltárt hatást, mivel e dolgozatban bemutatott munkáim szolgálnak egy-két tanulsággal e téren. Ezek az eredmények azért is érdekesek, mivel Magyarországon tudomásom szerint az erdei madárközösségek igényeit táji léptékben idáig még nemigen vizsgálták.

Őrségi munkámban (5. fejezet) is elemeztem – viszonylag kisebb térléptékben – egyes felszínborítási típusok arányának hatását az erdei madarakra nézve, azonban ott e változócsoporthoz nem találtam kimutatható hatását, amely, e táj szélsőségesen erdős volta miatt érthető is (Hagan & Meehan 2002; Batáry et al. 2010). Azonban a CORINE Felszínborítási Adatbázisból számolt erdősültség – úgyszintén nem meglepő módon – úgy tűnik, táji léptékben elég jól alkalmas a gyakori erdei madárfajok faj- és egyedszámainak előrejelzésére (lásd 3. táblázat). Figyelemre méltó ezzel szemben, hogy a ritka erdei madarak előfordulásait a tájnak ez a tulajdonsága csak nagyon-nagyon gyengén volt képes magyarázni (3. táblázat). Ennek valószínűleg az lehet az oka, hogy ezen igényesebb fajok esetében az erdőarány messze nem áll szoros kapcsolatban azok élőhelyének arányával – ahogy azt pedig olyan sok fragmentációval foglalkozó, erdei madarakról szóló cikk alapvetésként feltételezi (Lindenmayer & Fischer 2007).

A táji környezet egy másik olyan tulajdonsága, amely az Országos Erdőállomány Adattárból származtatott erdőjellemzők elemzése alapján egyértelműen kimutatható hatással van az erdei madárközösségek gazdagságára, a táj heterogenitása. Úgy tűnik, mind a tájban található erdők életkori diverzitása, mind a faállománytípusok diverzitása pozitív kapcsolatot

mutat néhány erdei madárcsoport gazdagságával, sőt, az erdők életkor-diverzitása az erdei madárközösségek összes egyedszámát is pozitívan befolyásolja (lásd 4. táblázat). A Magyarországon jelenleg általánosan elterjedt (Standovár 2012) vágásos üzem mód sajátossága, hogy a gazdálkodás alapegységéül szolgáló erdőrészek, mind az azokat alkotó fák életkorát, mind fafajösszetételét tekintve, meglehetősen homogének – könnyen lehet, hogy éppen e miatt a viszonylagos homogenitás miatt nem igazán sikerült kimutatni az irodalmi adatok alapján azért valamelyest feltételezhető (lásd például Fuller & Henderson 1992; Wilson et al. 2010) hatását erdőreszlet léptékben például az elegyességnek. Ezzel szemben a vágásos üzem mód másik jellemző sajátossága éppen az, hogy az akár közvetlenül egymás mellett található erdőrészek szélsőségesen, és átmenet nélkül különbözhetnek akár életkorukat, akár fafajösszetételüket tekintve. Ahogyan azt Fuller & Robles (2018) is megállapítja, ugyan e témában idáig még nem túl sok az eligazodást segítő kutatás, a néhány elterjedt gazdálkodási rezsimhez jellegzetes tájszerkezeti struktúrák és erdőreszlet-szerkezetek köthetők, és ezeknek megfelelően az egyes rezsimek táji léptékben eltérő, de rájuk jellemző madárvilágnak adnak otthont. A vágásos üzem mód esetében – talán a legidősebb, vágásérett állományokat leszámítva – éppen az állományokon belüli viszonylagos homogenitás miatt, relatíve kisebb alfa-diverzitás, és (ahogyan arra fent sorolt eredményeim is utalnak) nagyobb béta-diverzitás várható (Fuller & Robles 2018). Ezzel szemben például a Magyarországon az erdők néhány százalékában alkalmazott, terjedőfélben levő, folyamatos erdőborítást biztosító szálaló üzem mód (Standovár 2012) esetében éppen ellenkezőleg, az eltérő életkorú fák kis térléptékben való együttes előfordulásának, és az ennek köszönhetően megnövekedő szerkezeti diverzitásnak köszönhetően az állományokon belül nagyobb faj- és egyedszámú, gazdagabb erdei madárközösségek megjelenése várható, az erdei madárközösségek kisebb táji léptékű változatossága mellett (lásd például (Calladine et al. 2015)). A teljes képhez az is hozzátartozik azonban, hogy az ilyen módon művelt tájban, az alkalmas élőhelyek lecsökkent száma miatt, háttérbe szorulhatnak egyes, természetvédelmi szempontból szintén sérülékenynek számító, vágásterületekhez, nagyobb tisztásokhoz kötődő madárfajok (Costello et al. 2000; Gram et al. 2003; Calladine et al. 2015).

6.2. Erdeinkről rendelkezésre álló adatbázisok használhatósága az erdei madárközösségek gazdagságának előrejelzésében

Amíg eredményeim alapján úgy tűnik, hogy a CORINE felszínborítási adatbázisból számított, a táj összetételét leíró egyszerű háttérváltozók legfeljebb a gyakori madárfajok állományméreteinek előrejelzésére alkalmasak, az Országos Erdőállomány Adattár adatai valóban képesek e modellek prediktív erején számottevően javítani, méghozzá nem csak a gyakori, hanem a ritkább és érzékenyebb, erdei specialista fajokat is tartalmazó madárcsoportok esetében is. Először is az Országos Erdőállomány Adattár meglehetősen pontos és részletes adatokkal szolgál az erdőrészek életkori viszonyairól. Ezek, mint a 4. fejezetben bemutatott munkámból kiderül, igen fontos előrejelzői az erdei madárközösségek gazdagságának, ráadásul az erdők életkori viszonyait kifejező háttérváltozók nem csak az erdei madárközösség faj- és egyedszámával mutatnak határozott összefüggést, hanem az erdei madarak gyakorlatilag összes, általam vizsgált csoportjának gazdagságával, beleértve az érzékenyebb fajokat tartalmazó csoportokat is. Másrészt az Országos Erdőállomány Adattár úgyszintén viszonylag pontos adatokkal szolgál az erdőrészek fafajösszetételéről is, bár az erdők e jellemzőjének jóval kisebb a jelentősége a teljes erdei madárközösségek számára, elemzéseim alapján (lásd 4. fejezet) inkább az erdei madarak egyes csoportjaival mutat kisebb mértékű összefüggéseket.

Elemzéseim alapján igen feltűnő azonban, hogy az Országos Erdőállomány Adattárból számolt háttérváltozóink alig-alig nyújtottak használható információt az erdőrészek alapvető szerkezeti jellemzőiről. Ez azért igen lényeges megállapítás, mivel az erdei madarak számára (és valószínűleg az erdőben élő számos egyéb élőlénycsoport számára is) az erdőknek ez a jellemzője egyértelműen kiemelkedően fontos, ahogyan azt a nemzetközi (például MacArthur & MacArthur 1961; Archaux & Bakkaus 2007), hazai (Moskát & Székely 1989) azon belül saját kutatási eredményeim (lásd e dolgozat 3. és 4. fejezeteit) egyaránt alátámasztják. Az erdészeti üzemtervi adat fajtársoraiból ugyan következtetni lehet az egy-egy erdőrészleten belül jelenlévő, eltérő korú fapopulációkra, azonban arról, hogy valójában fizikailag mennyire színtezett egy-egy állomány, van-e például második lombkoronaszint, esetleg jól fejlett gyepszint, nem igazán tájékoztató. Igazság szerint az Országos Erdőállomány Adattár tartalmaz információt az erdők másik, erdei madarak számára fontos jellemzőjéről, a fák méretéről, azonban én ezeket az adatokat sajnos nem használtam e vizsgálatban. Pedig igen könnyen elképzelhetőnek tartom (mind a nemzetközi tapasztalatok,

lásd például Helle & Mönkkönen 1990, mind saját, őrési vizsgálataim alapján), hogy az ezekből az adatokból számított háttérváltozók még a kor-változóknál is szorosabb kapcsolatokat mutatnának az erdei madárközösségek gazdagságával. Végül szeretném kiemelni, hogy az Országos Erdőállomány Adattár nem tartalmaz semmilyen érdemi információt az erdők által tárolt holtfa mennyiségéről, illetve minőségéről, pedig ez az erdei madarak néhány csoportja számára egészen biztosan fontos szerkezeti elem (Ónodi & Winkler 2014), sőt, éppen őrési elemzéseim alapján (9. táblázat) úgy tűnik, hogy egyes esetekben az egész erdei madárközösség gazdagságával is összefüggést mutat.

Az erdőknek e legfeltűnőbb szerkezeti jellemzői az erdei madarakon kívül más élőlénycsoportok életfeltételeit is alapvetően befolyásolják (Lelli et al. 2019), így az egész erdei életközösség számára meghatározóak. Ráadásul ezek a legalapvetőbb erdőszerkezeti jellemzők viszonylag látványosak is egyben, így – a legtöbb élőlénycsoportról való adatgyűjtéssel ellentétben – alapszintű felmérésük relatíve egyszerű, nem igényel semmilyen speciális szaktudást (például fajismeretet), mégis igen sokat mondana az erdők általános állapotáról. Nyilvánvaló, hogy jelenleg erdeink nagy részén igen nagy a gazdasági nyomás, és nemhogy az erdei madarak igényei (bár e csoport kifejezett népszerűségnek örvend az emberek között), de általában a természeti értékek megőrzése is csak egy szempont a sok közül, és a legtöbb erdő esetében még csak nem is a legfontosabb. Jelenleg a hazai erdők 62%-a elsődleges rendeltetése alapján gazdasági célú erdő (NÉBIH 2015), de nagyjából erdeink 85%-ában folyik valamiféle gazdasági tevékenység (Standovár 2012). Ezzel együtt azonban mind Európában, mind Magyarországon egyre nő a nyomás a társadalom felől az erdők egyéb rendeltetési céljainak (például közjóléti funkciók, természetvédelem, talajvédelem, vízvédelem, klíma-szabályozás) figyelembevételére a gazdálkodás során, ami miatt egyre inkább a többcélú, integratív szemléletmódú erdőgazdálkodásé a jövő (Lindenmayer et al. 2006; Bollmann & Braunisch 2013), amely megvalósulását hatékonyan támogathatná, ha legalább az erdők legegyszerűbb szerkezeti jellemzőiről rendelkeznének alapszintű információkkal.

7. Kitekintés – megfontolások a gyakorlati szakemberek számára

A 6.1. fejezet felsorolásából talán kitűnik, hogy tulajdonképpen az erdő összes, erdei madarak számára ismert fontos kompozíciós, illetve szerkezeti jellemzőjét alapvetően befolyásolja az ember erdőgazdálkodási tevékenysége, ezért jelenleg az erdei madarak jövője számottevő

mértékben rajtunk múlik. Úgy tűnik, hogy a leggazdagabb erdei madárközösségek kialakulását sokszintű, gazdag gyep- és cserjeszintű, többkorú, lékekkel is tagolt, holtfában gazdag és nagy faegyedeket is tartalmazó erdőkben várhatjuk. Ugyan igen nagyok lehetnek az egyes erdőtípusok közötti különbségek, e felsorolás sok szempontból mégis erősen emlékeztet egy mérsékelt övi üde lombhullató elsődleges erdő képére. Mindehhez még jelenlegi tudásunk alapján annyit lehet talán hozzátenni, hogy az egymás mellett elhelyezkedő állományok sokfélesége úgyszintén kedvező, hiszen így táji léptékben még több madárfaj találhatja meg életfeltételeit egy-egy területen.

Jelenleg Magyarországon a faanyagtermelést (is) szolgáló erdeink túlnyomó többségében (több, mint 86%-ban, NÉBIH 2018) vágásos gazdálkodási mód az elterjedt gazdálkodási forma. E gazdálkodási mód keretein belül is van azonban néhány olyan gyakorlat, amelyeket alkalmazva javíthatók a 6.1. fejezetben felsorolt, madarak számára kiemelkedően fontos erdőjellemzők, így erdeink alkalmasabbá válhatnak gazdag, egészséges erdei madárközösségek eltartására. Mivel az érzékenyebb, erdei specialista madárfajok igen nagy részben kötődnek a legidősebb állományokhoz, és az erdei madárközösségek gazdagsága legerősebb összefüggést talán az erdők életkorával mutatja, az erdei madarak szempontjából valószínűleg a leghatékonyabb választási lehetőség a vágáskor kitolása. Mivel azonban ez gazdasági szempontból nyilvánvaló veszteséget jelent, reálisan nézve ez azokban a természetes, illetve természetyszerű erdőkben lehet alternatíva, amelyekben védettségük, és elsődleges rendeltetésük okán a természeti értékek megőrzése kiemelt fontosságú. Ehhez hasonló, ám vágásfordulókon átívelő hatású lehetőség a véghasználat során hagyásfák, illetve hagyásfa-csoportok megtartása. Ez a gyakorlat viszonylag ismert, és számos esetben alkalmazott módszer Magyarországon, mivel természetvédelmi előnyein túl kissé segíthet enyhíteni a vágásos gazdálkodás néhány hátulütőjét: a hagyásfák magtermésükkel segíthetik az új állomány természetes felújulását, esetleg valamelyest mérsékelhetik a mikroklíma, illetve a talajállapot kedvezőtlenebbé válását a véghasználat hatására. Az erdei madarak számára a hagyásfák elsősorban azért nagyon fontosak, mivel a nagy fák jelenléte az új állományban lehetővé teszi olyan madaraknak (elsősorban odúlakóknak, illetve ragadozóknak) a megjelenését, amelyek ezek nélkül a nagy faegyedek nélkül jó ideig nem találnák meg életfeltételeiket a fiatal állományban (Rosenvald & Löhmus 2008). A harmadik kézenfekvő lehetőség a vágásos gazdálkodás keretein belül a holtfa visszahagyása az erdőben, amely, jellegétől függően, kedvezően befolyásolhatja az elérhető ízeltlábú táplálékkínálatot az erdei madarak számára, illetve költőhelyet biztosíthat az odúlakó madarak számára. A holtfa mennyiségének növelésére számos lehetőség kínálkozik, például a gyérítési munkálatok során

keletkező kisebb ágak-gallyak kupacokban való visszahagyása, vagy egyes faegyedek gyűrűzéssel történő elsorvasztása, majd az erdőben hagyása mind hozzájárulhatnak az erdők madáreltartó képességének növeléséhez (lásd például Dickson et al. 1983; Petit et al. 1985). Valójában az idős fák hagyásfaként való megőrzésével úgyszintén növeljük az erdőben a holtfa mennyiségét, hiszen ezekben, korhadási folyamatok révén könnyebben alakulhatnak ki természetes odvak, illetve az elhalófélben levő fa-részekbe a harkályok is szívesebben vájnak odút (Balestrieri et al. 2015). E lehetőségeken kívül, ugyan az erdei madárközösség gazdagsága szempontjából csak kisebb hatásai feltételezhetők, azonban számos előnye, és egyes madárfajokra, madárcsoportokra való pozitív hatása miatt mindenképpen szeretnék szót ejteni az elegyesség növeléséről. Egyrészt például az őshonos puhafák beillesztése, avagy csak megtűrése a természetszerű állományokban kedvezően hathat néhány odúlakó madárfajra (lásd például Ónodi & Winkler 2014), de gazdagabb rováreltartó képességük okán akár egyéb madárfajokra is. Másrészt pedig, a több őshonos fafajból álló kevert állományok ellenállóbbak lehetnek a legkülönbözőbb károsító hatásokkal (például újonnan megjelenő kártevőkkel, éghajlati szélsőségekkel, avagy magával az éghajlatváltozással) szemben, ami hosszabb távon természetesen az erdei madarakra is visszahat. Éppen ezen megfontolások miatt, elsősorban az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást elősegítendő, az elegyesség növelése jelenleg Európa-szerte egyre elterjedtebben alkalmazott stratégia (Fuller & Robles 2018).

A vágásos gazdálkodási mód keretein belül tehát jó néhány lehetőség áll rendelkezésre az élőhely minőségének javítására az erdei madarak számára, még ha ezek egy része némi gazdasági kieséssel jár is. Az idáig áttekintett lehetőségek egyike sem alkalmas azonban arra, hogy számottevően javítson a vágásos üzemmódban művelt állományok vertikális színtezettségén, amely pedig az erdei madárközösségek gazdagságának egyik legfontosabb meghatározója. Igazság szerint a vágásos üzemmód egyik alapvető jellemzője éppen az, hogy nagyjából egykorú, relatíve nagy záródottságú állományokat hoz létre, amelyek életciklusuk nagy részében, éppen e magas fokú záródottság miatt, nem teszik lehetővé gazdag alsóbb szintek kialakulását. Az állományok nevelése során alkalmazott gyérítéskor ideiglenesen megnőhet az állományok belsejébe jutó fény mennyisége, azonban ezek a lécek túl kicsik, a környező fák gyorsan benövik őket, így nem okozzák az alsóbb szintek számottevő erősödését (Moskát & Waliczky 1992; Fuller 2013).

Az erdők vertikális színtezettsége azonban jellegéből adódóan sokkal kedvezőbben alakul a szálaló üzemmód esetében, amely a vágásos gazdálkodási mód egy ígéretes alternatívája. E gazdálkodási mód lényege, hogy – a mérsékelt övi erdők természetes

dinamikájához hasonlóan – az idős fák kitermelése sokkal kisebb térléptékben, kisebb lékekben történik, így a felújulás a nagy fák védelmében, a természetes folyamatokhoz sokkal inkább közel álló módon tud megtörténni. E módszer a vágásos gazdálkodási mód számos komoly hátulütőjét képes orvosolni: a nagy méretű vágásterületek hiánya miatt a talaj sokkal inkább védett, a lékek mikroklímája kiegyenlítettebb, a közeli nagy fák miatt a természetes felújulás sokkal könnyebben végbemegy. Ráadásul az erdőgazdálkodó szakembereknek, illetve az erdőnek magának nem vágásfordulónként egyszer van lehetősége irányítani például az elegyarányokat, vagyis az így kezelt állomány jóval rugalmasabb lehet. A fent felsorolt tulajdonságaik miatt ezek a folyamatos erdőborítást biztosító gazdálkodási módok jelenleg terjedőben vannak Európában az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás jegyében, sőt, lassan Magyarországon is kezdenek tért hódítani. Jelenleg e művelésmódban, és az ebbe átvezető, úgynevezett átalakító üzemmódban kezelik a hazai erdők körülbelül 5%-át (NÉBIH 2016).

Az is világos azonban, hogy természetvédelmi szempontból a meglévő legértékesebb állományokban a gazdálkodás háttérbe szorítása, felhagyása a lehető leghatékonyabb módja egyes érzékeny, erdei specialista fajok megőrzésének (Wesolowski 2005).

8. Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Standovár Tibornak, amiért mindig volt rám ideje bokros teendői mellett, és amiért hathatós gyakorlati segítsége mellett kiapadhatatlan madarak iránt érzett lelkesedésével és tudásával irányt mutatott a közös munka során.

Hálás vagyok, amiért az Európai Környezetvédelmi Ügynökség szabadon hozzáférhetővé teszi a CORINE Távérzékelési Adatbázist, így azt számos hasznos cél szolgálatába lehet állítani Európa-szerte. A CORINE adatbázis használhatóságát elemző munkánkat az Országos Tudományos Kutatási Alapprogram is támogatta (OTKA 68218). A készülő kézirat igen sokat javult W. M. Hochacka konstruktív megjegyzéseinek hatására.

Köszönettel tartozom a NÉBIH Erdészeti Igazgatóság akkori jogelődjének, és osztályvezetőjének, Kolozs Lászlónak, amiért rendelkezésünkre bocsátották az Országos Erdőállomány Adattár számunkra releváns adatait, ilyen módon lehetővé téve, hogy megmutassuk, milyen értékes adatok állnak rendelkezésre hazai erdeinkről. E helyen szeretnék még egyszer köszönetet mondani Standovár Tibornak a megszámlálhatatlan órányi munkáért, amelyet beleölt e hatalmas adatbázis megregulázásába. Hálás vagyok Sály Péternek, amiért bevezetett a machine learning technikák világába, így segített megoldást találni, amikor elakadtam az adatelemzéssel, és Somody Imeldának, aki, egy kicsi babája mellől elküldött rövid levéllel, úgyszintén igen hathatósan segített a felmerülő módszertani problémákra megoldást találnom.

Mindkettő fenti munka esetében a Mindennapi Madaraink Monitoringja program – amelyben felmérőként magam is részt veszek – madár adatait használtam. Hálásan köszönöm, hogy ezeket a Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület Monitoring Központjának munkatársai, név szerint Szép Tibor és Nagy Károly, rendelkezésemre bocsátották, és azt, hogy szakmai kérdésekben is bármikor bizalommal fordulhattam hozzájuk. És természetesen hatalmas köszönet jár annak a több száz önkéntes felmérőnek, akik hajnalok hajnalán járják az erdőket, földeket, réteket, és fáradtságot nem kímélve részt vesznek e kiemelkedően fontos programban, amely lehetővé teszi az ország természeti állapotában bekövetkező változások nyomon követését.

Őrségi kutatásom egy nagyobb kutatási program, az ŐrsErdő Projekt részeként zajlott. Köszönöm akkori témavezetőm, Ódor Péter, rengeteg rám szánt idejét, energiáját, és végső soron azt, hogy végérvényesen elindított a kutatóvá válás útján. E programban a háttér adatok

gyűjtése közös munka volt, köszönöm csapattársaimnak és barátaimnak, Németh Istvánnak, Mazál Istvánnak, Márialigeti Sárának és Tinya Flórának az e munkában való részvételt, és a terepen együtt eltöltött jó hangulatú napokat-heteket. E kutatást úgyszintén támogatta az Országos Tudományos Kutatási Alapprogram (OTKA 79158), az Európai Unió finanszírozású Európai Szociális Alap (TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0023), és az Őrségi Nemzeti Park.

Végül pedig szeretnék köszönetet mondani a családomnak. Elsősorban férjemnek, Balázsnak, aki a doktoranduszként eltöltött évek alatt végig biztos pontként állt mellettem, és a terepi munkáktól kezdve az adatbáziskezelési problémákon át igen sokféle módon tevőlegesen is hozzájárult ahhoz, hogy eljussak idáig. Azonban az is egészen bizonyos, hogy e dolgozat garantáltan nem készülhetett volna el, ha családtagjaim, egészen pontosan férjem, édesanyám, anyósom, illetve Klára és Csilla húgaim nem töltöttek volna megszámlálhatatlanul sok órát a két kicsi gyermekemre való vigyázással, amíg én e dolgozatot írtam, amiért örökre hálás leszek nekik!

Összefoglalás

Az erdei madarak igen érzékenyen reagálnak az élőhelyükül szolgáló erdők minőségére. Doktori dolgozatomban arra vállalkoztam, hogy, a nemzetközi és hazai irodalmi források áttekintésével, majd pedig saját kutatásaim eredményeinek összehasonlító értékelésén keresztül, áttekintsem az erdei madárközösségek gazdagsága és élőhelyük jellemzői között Magyarországon feltárható főbb kapcsolatokat.

A Mindennapi Madaraink Monitoringja (MMM) madár-adatain, 112, 2,5 km x 2,5 km-es UTM négyzetben megvizsgáltam, hogy mennyire alkalmasak az erdei madárközösség gazdagságának (21 nem túl ritka, zárterdei madárfaj adataiból képzett faj- és egyedszámának, illetve néhány funkcionális alcsoport faj- és egyedszámának) modellezésére a CORINE Felszínborítási Adatbázisból számolt nagyon egyszerű, a táj összetételét jellemző háttérváltozók (gyepek, agrár élőhelyek, urbán területek és erdők aránya). Az általános lineáris modellek alapján az erdei madárközösség vizsgált csoportjai erős pozitív kapcsolatot mutattak az erdősültséggel, és egyes csoportok gyengébb, de szintén pozitív összefüggést az urbán területek arányával. Úgy tűnik, e változók segítségével a gyakori erdei madarak előfordulását egészen jól lehetett modellezni (50-60%-os varianciafedések), azonban az érzékenyebb, erdei specialista fajokat is tartalmazó csoportok esetében ezek a nagyon egyszerű háttérváltozók csak igen gyengén működtek (20-30%-os varianciafedések). Elemzéseim megmutatták továbbá, hogy az erdei madarak gazdagságának leggyakoribb mérőszáma, az összes fajsza, csak nagyon gyenge összefüggést mutat az érzékenyebb fajokat tömörítő csoportok gazdagságával.

Majd szintén az MMM adatain, az előző elemzésben használt, 21 zárterdei madárfaj adataiból számolt madárközösség-változók segítségével, 106 UTM négyzetben megvizsgáltam, hogy az erdeinkről létező legrészletesebb adatbázis, az Országos Erdőállomány Adattár alkalmasabb eszköz-e az erdei madárközösségek gazdagságának modellezésére. Háttérváltozóink (amelyek a négyzetek erdeinek koreloszlását, fafajösszetételét, szerkezetét, és éghajlati viszonyait jellemezték) hatását random forest modellek építésével vizsgáltam. E változók számottevően javítottak a korábbi modellek magyarázó erején az erdei madárközösség összes vizsgált csoportja esetében. Különösen az erdők életkori viszonyai bizonyultak fontosnak az erdei madarak számára, bár a fafajösszetételnek és az éghajlati jellemzőknek is találtam kisebb hatását. Az adatbázis igen

nagy hiányossága azonban, hogy csak kevés információt tartalmaz az erdők szerkezetéről, amely pedig az erdei madarak számára kiemelkedő fontossággal bír.

Végül bemutatok egy esettanulmányt, amely során 35 őrségi erdőrészletben vizsgáltam az erdei madárközösségek gazdagsága (általánosan felmért erdei madarak faj- és egyedszáma, egyes funkcionális alcsoportok faj- és egyedszáma) és az erdei környezet néhány jellemzője (fafajösszetétel, faállományszerkezet, felszínborítási típusok aránya, tájtörténet) közötti összefüggéseket az előzőeknél kisebb, faállomány-léptékben. E munka egyik erősségét az igen részletes állományadatok adták. Az elemzési módszerül választott redundancia-analízis és általános lineáris modellek alapján az erdei madárközösség gazdagsága az Őrségben a fák átlagos méretével, a gyepszint borításával és a holtfa mennyiségével, vagyis néhány szerkezeti változóval mutatott erős összefüggést.

Dolgozatom alapján úgy tűnik, hogy az erdei madárközösségek gazdagsága Magyarországon is elsősorban az erdők korával és szerkezetével mutat erős összefüggéseket, bár a fafajösszetételnek és az éghajlati viszonyoknak is van kimutatható hatása. Az erdei madárközösségek gazdagsága így elsősorban olyan erdőjellemzőkkel mutat összefüggést, amelyeket az erdőgazdálkodás alapvetően befolyásol, így az erdei madarak megőrzése végső soron leginkább az erdők kezelésén múlik. Dolgozatomban végül ezzel kapcsolatban is megfogalmazok néhány javaslatot.

Summary

Forest birds are particularly sensitive to the quality of their habitats. The objective of my thesis is to explore the main habitat characteristics affecting the richness of forest bird assemblages in Hungary, based on the European and Hungarian literature, and my own studies.

Using the bird data of the Hungarian Common Bird Monitoring Scheme (Hungarian acronym: MMM) I examined the applicability of some simple CORINE land cover map derived landscape variables (proportion of agricultural fields, forests, built-up areas and grassland) in predicting the richness (species number and abundance of 21 forest bird species, and the species numbers and abundances of some subsets of it) of forest breeding bird communities in 112, randomly selected 2.5 km x 2.5 km UTM squares. Based on general linear models I found that the richness of forest bird assemblage showed strong and positive correlation with forest cover, and some subsets of it also showed positive, but much weaker correlation with the proportion of built-up areas. It seems that these simple variables of landscape composition were appropriate to predict the richness of common forest birds adequately (50-60% explained variance), but for the functional groups containing more vulnerable bird species the effect of these variables was much weaker (20-30% explained variance). My investigations also showed that the most often used measurement of the “goodness” of forest bird communities, the total species richness, had only really slight correlations with the richness of groups of more vulnerable forest bird species.

Then, also using the bird data of MMM, by the same variables of forest breeding bird community derived from the 21 forest bird species, I examined the applicability of the most detailed database about Hungarian forests, the Hungarian National Forest Database, in predicting the richness of forest bird communities in 106 UTM squares. The effects of our environmental variables (those describing the age, species composition, structure and climate of the forests of our squares) were analysed with the method of “random forests”. These variables significantly increased the predictive power of our previous models based only on landscape composition variables for all of the analysed groups of forest birds. Our models showed that forest age is especially important for forest birds, but I also found smaller effects of tree species composition and climate variables. However, I found a big limitation of this dataset that it contains only few data about forest structure which is one of the most important aspects of forest environment for forest birds.

Finally I present a case study at stand level, where I examined the effects of stand structure, tree species composition, proportion of habitat types and land use history on breeding bird community richness in 35 plots in Órség, Western Hungary. Bird data were collected by myself, species richness and abundance of the whole bird community and of some subsets of it were calculated. One of the main strengths of this work is the relatively detailed data about forest stands. Redundancy analysis and general linear models explore that the main drivers of breeding bird community richness in Órség were the mean size of trees, the cover of herb layer and dead wood volume, so I concluded that some structural characteristics of the forests proved to be the main factors affecting breeding birds in the region.

Based on my thesis it seems that the richness of forest bird communities in Hungary mainly depends on the age and structure of forests, but tree species composition and climate also have some effect. Thus, the richness of forest bird communities mainly depends on management related aspects of forests. Finally, some suggestions for management are also discussed.

Irodalomjegyzék

- Able, K. P., & Noon, B. R. (1976). Avian community structure along elevational gradients in the northeastern United States. *Oecologia*, 26(3): 275–294.
- Ainsworth, E. A., & Long, S. P. (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, 165(2): 351–372.
- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle (pp. 267–281). Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Andrén, H., & Anglestam, P. (1988). Elevated predation rates as an edge effect in habitat islands: Experimental evidence. *Ecology*, 69(2): 544–547.
- Anglestam, P., & Mikusiński, G. (1994). Woodpecker assemblages in natural and managed boreal and hemiboreal forest - a review. *Annales Zoologici Fennici*, 31: 157–172.
- Arcanum. (2006). A második magyar katonai felmérés 1806-1869. DVD kiadvány. Arcanum Kft., Budapest.
- Archaux, F., & Bakkaus, N. (2007). Relative impact of stand structure, tree composition and climate on mountain bird communities. *Forest Ecology and Management*, 247(1–3): 72–79.
- Balestrieri, R., Basile, M., Posillico, M., Altea, T., De Cinti, B., & Matteucci, G. (2015). A guild-based approach to assessing the influence of beech forest structure on bird communities. *Forest Ecology and Management*, 356: 216–223.
- Bani, L., Baietto, M., Bottoni, L., & Massa, R. (2002). The use of focal species in designing a habitat network for a lowland area of Lombardy, Italy. *Conservation Biology*, 16(3): 826–831.
- Batáry, P., Matthiesen, T., & Tscharntke, T. (2010). Landscape-moderated importance of hedges in conserving farmland bird diversity of organic vs. conventional croplands and grasslands. *Biological Conservation*, 143(9): 2020–2027.
- Begehold, H., Rzanny, M., & Winter, S. (2016). Patch patterns of lowland beech forests in a gradient of management intensity. *Forest Ecology and Management*, 360: 69–79.
- Bereczki, K., Ódor, P., Csóka, Gy., Mag, Zs., & Báldi, A. (2014). Effects of forest heterogeneity on the efficiency of caterpillar control service provided by birds in temperate oak forests. *Forest Ecology and Management*, 327: 96–105.

- Bibby, C. J. (1999). Making the most of birds as environmental indicators. In N. J. Adams & R. . Slotow (Eds.): Proceedings of the 22 International Ornithological Congress (Vol. 70: pp. 81–88). Durban.
- Bibby, C. J., Aston, N., & Bellamy, P. E. (1989). Effects of broadleaved trees on birds of upland conifer plantations in North Wales. *Biological Conservation*, 49(1): 17–29.
- Bivand, R., & Piras, G. (2015). Comparing implementations of estimation methods for spatial econometrics. *Journal of Statistical Software*, 63(18): 1–36.
- Blanc, L. A., & Martin, K. (2012). Identifying suitable woodpecker nest trees using decay selection profiles in trembling aspen (*Populus tremuloides*). *Forest Ecology and Management*, 286: 192–202.
- Bollmann, K., & Braunisch, V. (2013). To integrate or to segregate: Balancing commodity production and biodiversity conservation in European forests. In D. Kraus & F. Krumm (Eds.): Integrative Approaches as an Opportunity for the Conservation of Forest Biodiversity (pp. 18–31). European Forest Institute, Barcelona.
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Numerical Ecology with R*. Springer, New York.
- Both, C., Van Turnhout, C. A. M., Bijlsma, R. G., Siepel, H., Van Strien, A. J., & Foppen, R. (2009). Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1685).
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2): 123–140.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1): 5–32.
- Brotons, L., Mönkkönen, M., Huhta, E., Nikula, A., & Rajasarka, A. (2003). Effects of landscape structure and forest reserve location on old-growth forest bird species in Northern Finland. *Landscape Ecology*, 18: 377–393.
- Burnham, P. K., & Anderson, R. D. (1992). Data-based selection of an appropriate biological model: the key to modern data analysis. In R. D. McCullough & H. R. Barret (Eds.): *Wildlife 2001: populations*. (pp. 16–30). Elsevier Applied Science, London.
- Calladine, J., Bray, J., Broome, A., & Fuller, R. J. (2015). Comparison of breeding bird assemblages in conifer plantations managed by continuous cover forestry and clearfelling. *Forest Ecology and Management*, 344: 20–29.
- Calladine, J., Díaz, M., Reino, L., Jardine, D., & Wilson, M. W. (2018). Plantations of Non-native Tree Species. In G. Mikusiński, J.-M. Roberge, & R. J. Fuller (Eds.): *Ecology and Conservation of Forest Birds* (pp. 350–386). Cambridge University Press, Cornwall.

- CEC. (1994). CORINE land cover. Technical guide. Office for Official Publications of European Communities, Luxembourg.
- Christensen, M., Hahn, K., Mountford, E. P., Ódor, P., Standovár, T., Rozenbergar, D., ... Vrska, T. (2005). Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 210: 267–282.
- Cockle, K. L., Martin, K., & Wesołowski, T. (2011). Woodpeckers, decay, and the future of cavity-nesting vertebrate communities worldwide. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(7): 377–382.
- Colquhoun, M. K., & Morley, A. (1943). Vertical zonation in woodland bird communities. *The Journal of Animal Ecology*, 12(2): 75.
- Costello, C. A., Yamasaki, M., Pekins, P. J., Leak, W. B., & Neefus, C. D. (2000). Songbird response to group selection harvests and clearcuts in a New Hampshire northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 127(1–3): 41–54.
- Csóka, Gy., & Lakatos, F. (2015). A kocsányos tölgy rovarvilága. *Erdészeti Lapok*, 150(9), 277–280.
- Czeszczewik, D., Walankiewicz, W., Mitrus, C., Tumiel, T., Stanski, T., Sahel, M., & Bednarczyk, G. (2013). Importance of dead wood resources for woodpeckers in coniferous stands of the Białowieża Forest. *Bird Conservation International*, 23(4): 414–425.
- Dickson, J. G., Conner, R. N., & Williamson, J. H. (1983). Snag retention increases bird use of clear-cut. *Journal of Wildlife Management*, 47: 799–804.
- Donald, F. P., Fuller, J. R., Evans, A. D., & Gough, J. S. (1998). Effects of forest management and grazing on breeding bird communities in plantations of broadleaved and coniferous trees in western England. *Biological Conservation*, 85: 183–197.
- Dövényi, Z. (2010). Magyarország Kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- EBCC. (2018). European Bird Census Council. Retrieved December 9, 2018, from <http://www.ebcc.info/>
- EEA. (2000). CORINE land cover technical guide - Addendum 2000. European Environment Agency, Copenhagen.
- Ehrlén, J., & Eriksson, O. (2000). Dispersal limitation and patch occupancy in forest herbs. *Ecology*, 81: 1667–1674.
- Ellenberg, H. (1988). *Vegetation ecology of Central Europe*, 1st edition. Cambridge University Press, Cambridge.

- Endels, P., Adriaens, D., Verheyen, K., & Hermy, M. (2004). Population structure and adult plant performance of forest herbs in three contrasting habitats. *Ecography*, 27: 225–241.
- Everitt, B. S., & Hothorn, T. (2006). *A Handbook of Statistical Analyses Using R*. Chapman and Hall, London.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34: 487–515.
- Faraway, J. J. (2005). *Linear Models with R*. Chapman and Hall, London.
- Faraway, J. J. (2006). *Extending the Linear Model with R*. Chapman and Hall, London.
- Fekete, G., Molnár, Z., & Horváth F (Eds.). (1997). *A magyarországi élőhelyek leírása és határozókönyve. A Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer. Természettudományi Múzeum, Budapest.*
- Fernandez-Juricic, E. (2004). Spatial and temporal analysis of the distribution of forest specialists in an urban-fragmented landscape (Madrid, Spain) Implications for local and regional bird conservation. *Landscape and Urban Planning*, 69: 17–32.
- Ford, H. A. (1987). Bird communities on habitat islands in England. *Bird Study*, 34(3), 205–218.
- Fournier, E., & Loreau, M. (2001). Respective roles of recent hedges and forest patch remnants in the maintenance of ground-beetle (Coleoptera: Carabidae) diversity in an agricultural landscape. *Landscape Ecology*, 16(1): 17–32.
- Fraixedas, S., Lehtikoinen, A., & Lindén, A. (2015). Impacts of climate and land-use change on wintering bird populations in Finland. *Journal of Avian Biology*, 46: 63–72.
- Fuller, R. J. (1995). *Bird life of woodland and forest*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fuller, R. J. (2012). Habitat quality and habitat occupancy by birds in variable environments. In R. J. Fuller (Ed.): *Birds and Habitat: Relationships in Changing Landscapes* (pp. 37–62). Cambridge University Press, Cambridge.
- Fuller, R. J. (2013). Searching for biodiversity gains through woodfuel and forest management. *Journal of Applied Ecology*, 50(6): 1295–1300.
- Fuller, R. J., Gaston, K. J., & Quine, C. P. (2007). Living on the edge: British and Irish woodland birds in a European context. *Ibis*, 149(s2), 53–63.
- Fuller, R. J., & Henderson, A. C. B. (1992). Distribution of breeding songbirds in Bradfield Woods, Suffolk, in relation to vegetation and coppice management. *Bird Study*, 39(2), 73–88.

- Fuller, R. J., & Robin, M. A. J. (2001). Ecological impacts of increasing numbers of deer in British woodland. *Forestry*, 74(3): 193–199.
- Fuller, R. J., & Robles, H. (2018). Conservation Strategies and Habitat Management for European Forest Birds. In G. Mikusiński, J.-M. Roberge, & R. J. Fuller (Eds.): *Ecology and Conservation of Forest Birds* (pp. 455–507). Cambridge University Press, Cornwall.
- Genuer, R., Poggi, J.-M., & Tuleau-Malot, C. (2010). Variable selection using random forests. *Pattern Recognition Letters*, 31(14): 2225–2236.
- Genuer, R., Poggi, J.-M., & Tuleau-Malot, C. (2015). VSURF: An R Package for Variable Selection Using Random Forests. *The R Journal*, 7(2): 19–33.
- Gram, W. K., Porneluzi, P. A., Clawson, R. L., Faaborg, J., & Richter, S. C. (2003). Effects of experimental forest management on density and nesting success of bird species in Missouri Ozark Forests. *Conservation Biology*, 17(5): 1324–1337.
- Greenwood, J. D., & Baillie, S. R. (1991). Effects of density-dependence and weather on population changes of English passerines using a non-experimental paradigm. *Ibis*, 133(1): 121–133.
- Gregory, D. R., Gibbons, W. D., & Donald, F. P. (2004). Bird census and survey techniques. In W. Sutherland J., I. Newton, & R. Green E. (Eds.): *Bird Ecology and Conservation - A handbook of techniques* (pp. 17–56). Oxford University Press, Oxford.
- Gregory, D. R., & Van Strien, A. J. (2010). Wild bird indicators: using composite population trends of birds as measures of environmental health. *Ornithological Science*, 9(1): 3–22.
- Gregory, D. R., Voříšek, P., Van Strien, A. J., Meyling, G., W., A., Jiguet, F., ... Burfield, I. J. (2007). Population trends of widespread woodland birds in Europe. *Ibis*, 149(Suppl. 2): 78–97.
- Gyöngyössy, P. (2008). Gyantásország. Történeti adatok az őrségi erdők erdészeti és természetvédelmi értékeléséhez. Kerekerdő Alapítvány, Szombathely.
- Hagan, M. J., & Meehan, L. A. (2002). The effectiveness of stand-level and landscape-level variables for explaining bird occurrence in an industrial forest. *Forest Science*, 48(2): 231–242.
- Halia, Y., Järvinen, O., & Vaisanen, R. A. (1980). Effects of changing forest structure on long-term trends in bird populations in SW Finland. *Ornis Scandinavica*, 11: 12–22.
- Hanski, I., & Walsh, M. (2004). How much, how to? Practical tools for forest conservation. Birdlife International, Helsinki.
- Hanzelka, J., & Reif, J. (2016). Effects of vegetation structure on the diversity of breeding bird communities in forest stands of non-native black pine (*Pinus nigra* A.) and black

- locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the Czech Republic. *Forest Ecology and Management*, 379: 102–113.
- HBW and BirdLife International. (2017). Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the world. Version 2. Retrieved from http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_Version_2.zip
- Helle, P., & Mönkkönen, M. (1990). Forest successions and bird communities: theoretical aspects and practical implications. In A. Keast (Ed.): *Biogeography and Ecology of forest Bird Communities* (pp. 299–318). SPB Academic Publishers, The Hague.
- Hewson, C. M., Austin, G. E., Gough, S. J., & Fuller, R. J. (2011). Species-specific responses of woodland birds to stand-level habitat characteristics: The dual importance of forest structure and floristics. *Forest Ecology and Management*, 261(7): 1224–1240.
- Hewson, C. M., & Noble, D. G. (2009). Population trends of breeding birds in british woodlands over a 32-year period: Relationships with food, habitat use and migratory behaviour. *Ibis*, 151(3), 464–486.
- Hinsley, S. A., Carpenter, J. E., Broughton, R. K., Bellamy, P. E., Rothery, P., Amar, A., ... Gosler, A. G. (2007). Habitat selection by Marsh Tits *Poecile palustris* in the UK. *Ibis*, 149: 224–233.
- Holmes, R. T., & Robinson, S. K. (1981). Tree species preferences of foraging insectivorous birds in a northern hardwoods forest. *Oecologia*, 48(1): 31–35.
- Holmes, R. T., & Schultz, J., C. (1988). Food availability for forest birds: effects of prey distribution and abundance on bird foraging. *Canadian Journal of Zoology*, 66: 720–728.
- Imbeau, L., Drapeau, P., & Mönkkönen, M. (2003). Are forest birds categorised as “edge species” strictly associated with edges? *Ecography*, 26(4): 514–520.
- Jiguet, F., Gregory, D. R., Devictor, V., Green, R. E., Voříšek, P., Van Strien, A. J., & Couvet, D. (2010). Population trends of European common birds are predicted by characteristics of their climatic niche. *Global Change Biology*, 16(2): 497–505.
- Jiguet, F., Julliard, R., Couvet, D., & Petiau, A. (2005). Modeling spatial trends in estimated species richness using breeding bird survey data: a valuable tool in biodiversity assessment. *Biodiversity and Conservation*, 14: 3305–3324.
- Kelemen, K., Kriván, A., & Standovár, T. (2014). Effects of land-use history and current management on ancient woodland herbs in Western Hungary. *Journal of Vegetation Science*, 25(1): 172–183.

- Király, G. (Ed.). (2009). Új magyar fűvészkönyv. Magyarország hajtásos növényei: Határozókulcsok. Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság, Jósvafő.
- Körner, C. (2004). Mountain biodiversity, its causes and function. *Ambio*, Spec No. 13: 11–7.
- Kosinski, Z., & Winiecki, A. (2004). Nest-site selection and niche partitioning among the Great Spotted Woodpecker. *Ornis Fennica*, 81: 145–156.
- Lambeck, R. J. (1997). Focal species: A multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*, 11: 849–856.
- Lehikoinen, A., & Virkkala, R. (2018). Population Trends and Conservation Status of Forest Birds. In G. Mikusiński, J.-M. Roberge, & R. J. Fuller (Eds.): *Ecology and Conservation of Forest Birds* (pp. 388–426). Cambridge University Press, Cornwall.
- Lelli, C., Bruun, H. H., Chiarucci, A., Donati, D., Frascaroli, F., Fritz, Ö., ... Heilmann-Clausen, J. (2019). Biodiversity response to forest structure and management: Comparing species richness, conservation relevant species and functional diversity as metrics in forest conservation. *Forest Ecology and Management*, 432: 707–717.
- Lencinas, G. M., Anderson, C., B., Busso, C., & Pastur, M. V. (2008). The value of timber quality forests for insect conservation on Tierra del Fuego Island compared to associated non-timber quality stands. *Journal of Insect Conservation*, 12: 461–475.
- Lepš, J., & Šmilauer, P. (2003). *Multivariate Analysis of Ecological Data Using Canoco*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and Regression by Random Forest. *R News*, 2/3(December): 18–22.
- Lindenmayer, D. B., & Fischer, J. (2007). Tackling the habitat fragmentation panchreston. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(3): 127–132.
- Lindenmayer, D. B., Franklin, J. F., & Fischer, J. (2006). General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 131(3): 433–445.
- Lõhmus, A., & Remm, J. (2005). Nest quality limits the number of hole-nesting passerines in their natural cavity-rich habitat. *Acta Oecologica*, 27(2): 125–128.
- MacArthur, H. R., & MacArthur, W. J. (1961). On bird species diversity. *Ecology*, 42(3): 594–598.
- MacArthur, H. R., & Wilson, E. O. (1967). *The Theory of Inland Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Mackenzie, J. M. D. (1945). The preference shown by birds for different species of trees in plantations. *Forestry*, 19(1), 97–112.

- Mag, Zs., & Ódor, P. (2015). The effect of stand-level habitat characteristics on breeding bird assemblages in Hungarian temperate mixed forests. *Community Ecology*, 16(2): 156–166.
- Mag, Zs., Szép, T., Nagy, K., & Standovár, T. (2011). Modelling forest bird community richness using CORINE land cover data: a study at the landscape scale in Hungary. *Community Ecology*, 12(2): 241-248.
- Maziarz, M., Wesołowski, T., Hebda, G., & Cholewa, M. (2015). Natural nest-sites of Great Tits (*Parus major*) in a primeval temperate forest (Białowieża National Park, Poland). *Journal of Ornithology*, 156(3): 613–623.
- McCollin, D. (1998). Forest edges and habitat selection in birds: a functional approach. *Ecography*, 21(3): 247–260.
- Melles, S., Glenn, S., & Martin, K. (2003). Urban bird diversity and landscape complexity: Species-environment associations along a multiscale habitat gradient. *Conservation Ecology*, 7(1): 5.
- Mikusiński, G., & Anglestam, P. (1997). European woodpeckers and anthropogenic habitat change: A review. *Vogelwelt*, 118: 277–283.
- Mikusiński, G., Gromadzki, M., & Chylarecki, P. (2001). Woodpeckers as indicators of forest bird diversity. *Conservation Biology*, 15: 208–217.
- Mitchell, S. M., Rutzmoser, S., Wigley, B. T., Loehle, C., Gerwin, A. J., Keyser, D. P., ... Wood, B. P. (2006). Relationships between avian richness and landscape structure at multiple scales using multiple landscapes. *Forest Ecology and Management*, 221: 155–169.
- MME/Birdlife Hungary. (2017). Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület. Retrieved December 10, 2018, from <http://www.mme.hu/>
- MME/Birdlife Hungary. (2018). Magyarország Madarai. Retrieved December 10, 2018, from <http://www.mme.hu/magyarorszagmadarai>
- MME/Monitoring Központ. (2018). MMM adatbázis. Retrieved December 10, 2018, from <http://mmm.mme.hu/>
- Møller, A. P., Rubolini, D., & Lehikoinen, E. (2008). Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(42): 16195–200. doi:10.1073/pnas.0803825105
- Mönkkönen, M. (1994). Diversity patterns in palaearctic and nearctic forest bird assemblages. *Journal of Biogeography*, 21(2): 183–195.

- Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37: 17–23.
- Moskát, Cs. (1987). Estimating bird density in Hungarian deciduous forests. *Acta Reg. Soc. Sci Litt Gothoburgensis, Zoologica*, 14: 153–161.
- Moskát, Cs. (1988). Breeding bird community and vegetation structure in a beech forest in the Pilis mountains, N. Hungary. *Aquila*, 95: 105–112.
- Moskát, Cs., & Báldi, A. (1999). The importance of edge effect in line transect censuses applied in marshland habitats. *Ornis Fennica*, 76: 33–40.
- Moskát, Cs., & Fuisz, T. (1992). Forest management and bird communities in the beech and oak forests of the Hungarian mountains. *Proceedings Bird Numbers*, 29–38.
- Moskát, Cs., Hráskó, G., & Waliczky, Z. (1988). Species composition and the structure of avian communities in the Pilis Mountains, North Hungary. In J. Török (Ed.): *Ornithological Researches in the Pilis Biosphere Reserve* (pp. 12–20). Hungarian Ornithological Society, Budapest.
- Moskát, Cs., & Székely, T. (1989). Habitat distribution of breeding birds in relation to forest succession. *Folia Zoologica*, 38(4): 363–376.
- Moskát, Cs., & Waliczky, Z. (1992). Bird-vegetation relationships along ecological gradients: ordination and plexus analysis. *Ornis Hungarica*, 2: 45–60.
- Moss, D. (1978). Diversity of woodland song-bird populations. *The Journal of Animal Ecology*, 47(2): 521.
- Muller, J., Stadler, J., & Brandl, R. (2010). Composition versus physiognomy of vegetation as predictors of bird assemblages: The role of lidar. *Remote Sensing of Environment*, 114: 490–495.
- Nappi, A., Drapeau, P., & Leduc, A. (2015). How important is dead wood for woodpeckers foraging in eastern North American boreal forests? *Forest Ecology and Management*, 346: 10–21.
- NÉBIH. (2015). Erdőgazdálkodás és erdővagyon Magyarországon 2015-ben. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Erdészeti Igazgatóság, Budapest. Retrieved from https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/206281/2015_leporello_magyar_web_300dpi.pdf/672fd0f8-3a59-4dc7-a51a-13fd0daa7c2f
- NÉBIH. (2016). Erdőgazdálkodás és erdővagyon Magyarországon 2016-ban. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Erdészeti Igazgatóság, Budapest. Retrieved from http://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/206281/leporello_2016_hun.pdf
- NÉBIH. (2018). Erdőtérkép. Retrieved from <http://erdoterkep.nebih.gov.hu/>

- Newton, I., Wyllie, I., & Mearns, R. (1986). Spacing of sparrowhawks in relation to food supply. *The Journal of Animal Ecology*, 55(1): 361
- Nilsson, S. G. (1979). Density and species richness of some forest bird communities in South Sweden. *Oikos*, 33(3): 392–401.
- Nilsson, S. G. (1984). The evolution of nest-site selection among hole-nesting birds: The importance of nest predation and competition. *Ornis Scandinavica*, 15(3): 167–175.
- Nilsson, S. G. (1986). Are bird communities in small biotope patches random samples from communities in large patches? *Biological Conservation*, 38(2): 179–204.
- Ódor, P. (Ed.). (2015). MTA Ökológiai Kutatóközpont Tanulmányai 2: A biodiverzitást meghatározó környezeti változók vizsgálata az őrségi erdőkben. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany.
- Ónodi, G., & Winkler, D. (2014). A holtfa szerepe az odúlakó madárközösségek kialakulásában. In D. Bartha & S. Oroszi (Eds.): *A holtfa. Silva naturalis - A folyamatos erdőborítás elméleti alapjainak és gyakorlati megvalósításának sorozata* (Vol. 5). (pp. 125–144). Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron.
- Paclík, M., Misík, J., & Weidinger, K. (2009). Nest predation and nest defence in European and North American woodpeckers: a review. *Annales Zoologici Fennici*. 46(5):361–379
- Pannekoek, J., & Van Strien, A. J. (2005). *TRIM 3 Manual (Trends & Indices for Monitoring data)*. Statistics Netherlands, Voorburg.
- Partecke, J., & Gwinner, E. (2007). Increased sedentariness in European Blackbirds following Urbanization: A consequence of local adaptation? *Ecology*, 88(4): 882–890.
- Pasinelli, G. (2007). Nest site selection in middle and great spotted woodpeckers *Dendrocopos medius* & *D. major*: Implications for forest management and conservation. *Biodiversity and Conservation*, 16(4): 1283–1298.
- Peck, K. M. (1989). Tree species preferences shown by foraging birds in forest plantations in Northern England. *Biological Conservation*, 48(1): 41–57.
- Petit, D. R., Petit, K. E., Gbub, T. C., & Reichhardt, L. J. (1985). Habitat and snag selection by woodpeckers in a clear-cut: an analysis using artificial snags. *Wilson Bulletin*, 97: 525–533.
- Pino, J., Rodá, F., Ribas, J., & Pons, X. (2000). Landscape structure and bird species richness: implications for conservation in rural areas between natural parks. *Landscape and Urban Planning*, 49: 35–48.
- Podani, J. (2000). *Introduction to the exploration of multivariate biological data*. Backhuys Publishers, Leiden.

- Poulin, J.-F., & Villard, M.-A. (2011). Edge effect and matrix influence on the nest survival of an old forest specialist, the Brown Creeper (*Certhia americana*). *Landscape Ecology*, 26(7): 911–922.
- Reif, J., Marhoul, P., & Koptík, J. (2013). Bird communities in habitats along a successional gradient: Divergent patterns of species richness, specialization and threat. *Basic and Applied Ecology*, 14(5): 423–431.
- Remm, J., & Lõhmus, A. (2011). Tree cavities in forests - The broad distribution pattern of a keystone structure for biodiversity. *Forest Ecology and Management*, 262: 579–585.
- Robbins S., C., Sauer R., J., & Peterjohn G., B. (1993). Population trends and management opportunities for neotropical migrants. In D. Finch M. & P. Stangel W. (Eds.): *Status and management of neotropical migratory birds*. (pp. 17–23). USDA Press, Bloomington.
- Roberge, J.-M., & Anglestam, P. (2004). Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conservation Biology*, 18(1): 76–85.
- Roberge, J.-M., & Anglestam, P. (2006). Indicator species among resident forest birds - A cross-regional evaluation in Northert Europe. *Biological Conservation*, 130: 134–147.
- Roberge, J.-M., Anglestam, P., & Villard, M.-A. (2008). Specialised woodpeckers and naturalness in hemiboreal forests - Deriving quantitative targets for conservation planning. *Biological Conservation*, 141: 997–1012.
- Rosenvald, R., & Lõhmus, A. (2008). For what, when, and where is green-tree retention better than clear-cutting? A review of the biodiversity aspects. *Forest Ecology and Management*, 255(1): 1–15.
- Rosenvald, R., Lõhmus, A., Kraut, A., & Remm, L. (2011). Bird communities in hemiboreal old-growth forests: The roles of food supply, stand structure, and site type. *Forest Ecology and Management*, 262: 1541–1550.
- Saino, N., Ambrosini, R., Rubolini, D., Von Hardenberg, J., Provenzale, A., Hüppop, K., ... Sokolov, L. (2011). Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1707): 835–842.
- Sanderson, F. J., Donald F., P., Pain, D. J., Burfield, I. J., & van Bommel, F. P. J. (2006). Long-term population declines in Afro-Palearctic migrant birds. *Biological Conservation*, 131(1): 93–105.
- Seonare, J., Bustamante, J., & Diaz-Delgado, R. (2004). Are existing vegetation maps adequate to predict bird distributions? *Ecological Modelling*, 175: 137–149.

- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Simončič, T., Bončina, A., Jarni, K., & Klopčič, M. (2018). Assessment of the long-term impact of deer on understory vegetation in mixed temperate forests. *Journal of Vegetation Science*. doi: 10.1111/jvs.12702
- Smith, K. W. (1997). Nest site selection of the great spotted woodpecker *Dendrocopus major* in two oak woods in southern England and its implications for woodland management. *Biological Conservation*, 80(3): 283–288.
- Smith, K. W. (2007). The utilization of dead wood resources by woodpeckers in Britain. *Ibis*, 149: 183–192.
- Snow, D. W. (1958). The breeding of the Blackbird *Turdus merula* at Oxford. *Ibis*, 100(1): 1–30.
- Sopp, L., & Kolozs, L. (2000). Fatömegszámítási táblázatok. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest.
- Spiecker, H. (2003). Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe - Temperate zone. *Journal of Environmental Management*, 67(1): 55–65.
- Standovár, T. (Ed.). (2012). Erdők a világban, Európában és Magyarországon (Erdészeti Lapok Különszám). Országos Erdészeti Egyesület, Budapest.
- Strobl, C., Boulesteix, A.-L., Kneib, T., Augustin, T., & Zeileis, A. (2008). Conditional variable importance for random forests. *BMC Bioinformatics*, 9(1): 307.
- Svetnik, V., Liaw, A., & Tong, C. (2000). Variable Selection in Random Forest with Application to Quantitative Structure-Activity Relationship. In N. Intrator & F. Masulli (Eds.): *Proceedings of the 7th Course on Ensemble Methods for Learning Machines* (pp. 1–8). Biomterics Research, Rahway.
- Szabó, P. (2008). Erdők és erdőgazdálkodás a középkori Magyarországon. In A. Kubinyi, J. Laszlovszki, & P. Szabó (Eds.): *Gazdaság és gazdálkodás a középkori Magyarországon: gazdaságtörténet, anyagi kultúra, régészet* (pp. 317–339). Martin Opitz Kiadó, Budapest.
- Szekeres, P. (2010). Fehérhátú fakopáncs (*Dendrocopos leucotos*) élőhely választása a Börzsönyben, a fekvő holtfa mint élőhelyszerkezeti elem alapján (Szakdolgozat). Szent István Egyetem, Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar, Állattudományi Alapok Intézet, Állattani és Állatökológiai Tanszék, Gödöllő.
- Szép, T., & Gibbons, W. D. (2000). Monitoring of common breeding birds in Hungary using a randomised sample design. *The Ring*, 22(2): 45–55.

- Szép, T., Nagy, K., Nagy, Z., & Halmos, G. (2012). Population trends of common breeding and wintering birds in Hungary, decline of long-distance migrant and farmland birds during 1999–2012. *Ornis Hungarica*, 20(2): 13–63.
- ter Braak, J. F., & Šmilauer, P. (2002). CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca.
- Terraube, J., Archaux, F., Deconchat, M., van Halder, I., Jactel, H., & Barbaro, L. (2016). Forest edges have high conservation value for bird communities in mosaic landscapes. *Ecology and Evolution*, 6(15): 5178–5189.
- Thaxter, C. B., Joys, A. C., Gregory, D. R., Baillie, S. R., & Noble, D. G. (2010). Hypotheses to explain patterns of population change among breeding bird species in England. *Biological Conservation*, 143(9): 2006–2019.
- The R Foundation for Statistical Computing. (2009). R version 2.10.1. Vienna, Ausztria.
- The R Foundation for Statistical Computing. (2018). R version 3.5.1. Vienna, Ausztria.
- Tímár, G., Ódor, P., & Bodoncz, L. (2002). Az Őrségi Tájvédelmi Körzet erdeinek jellemzése. *Kanitzia*, 10: 109–135.
- Tinya, F., Mihók, B., Márialigeti, S., Mag, Zs., & Ódor, P. (2009). A comparison of three indirect methods for estimating understory light at different spatial scales in temperate mixed forests. *Community Ecology*, 10(1):81–90.
- Tobisch, T., & Kotteck, P. (2013). Forestry-related Databases of the Hungarian Forestry Directorate. National Food Chain Safety Office (NFCSO), Budapest.
- Tomiałojć, L. (1980). The impact of predation on urban and rural woodpigeon (*Columba palumbus* (L.)) populations. *Polish Ecological Studies*, 5: 141–220.
- Tomiałojć, L. (2000). An East-West gradient in the breeding distribution and species richness of the European woodland avifauna. *Acta Ornithologica*, 35: 3–17.
- Tomiałojć, L., & Wesolowski, T. (1990). Bird communities of the primaeval temperate forest of Białowieża, Poland. In A. Keast (Ed.): *Biogeography and Ecology of Forest Bird Communities* (pp. 141–165). SPB Academic Publishers, The Hague.
- Tomiałojć, L., & Wesolowski, T. (2004). Diversity of the Białowieża Forest avifauna in space and time. *Journal of Ornithology*, 145(2): 81–92.
- Tomiałojć, L., Wesolowski, T., & Walankiewicz, W. (1984). Breeding bird community of a primaeval temperate forest (Białowieża National Park, Poland). *Acta Ornithologica*, 20: 41–310.

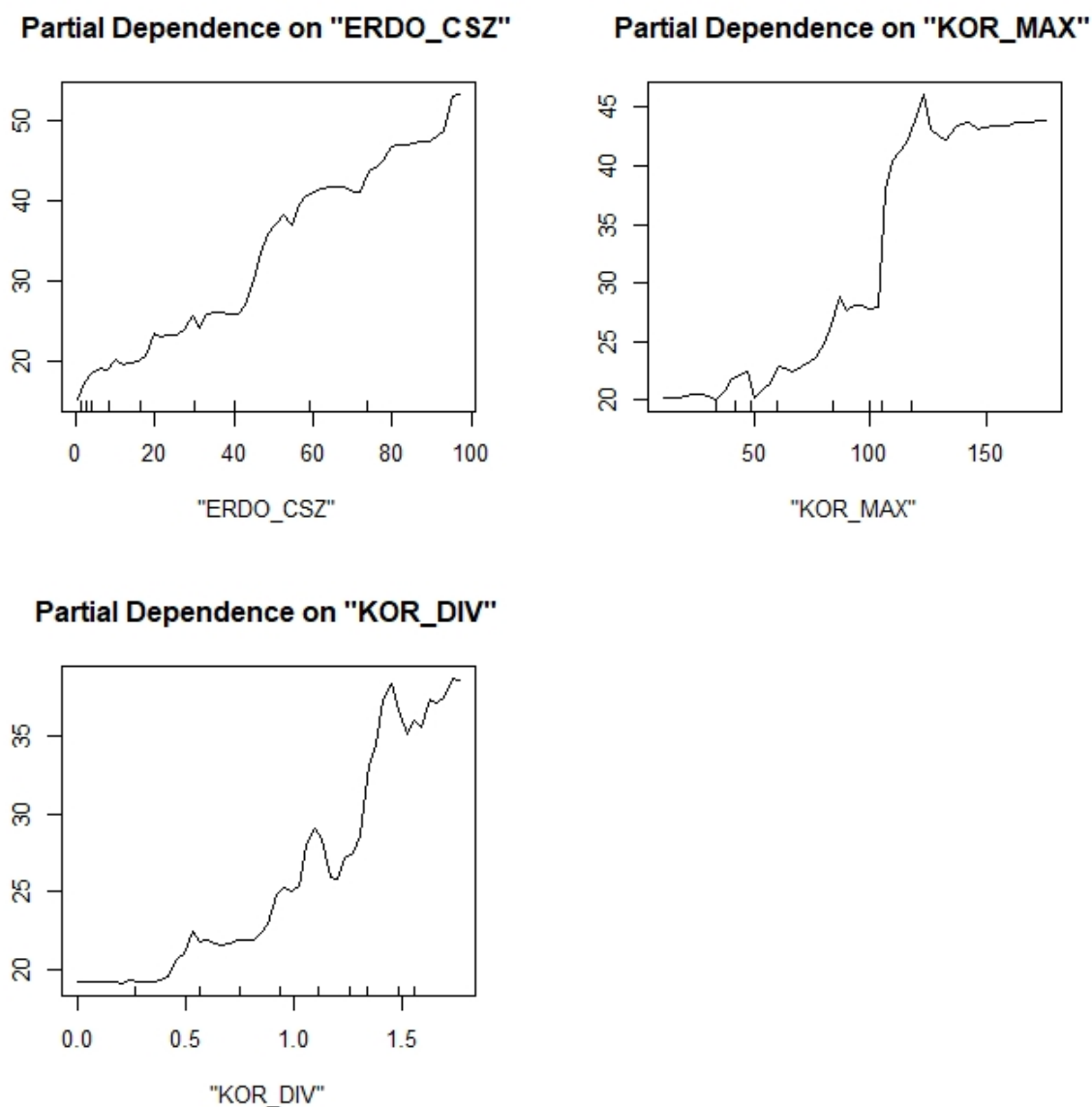
- Tucker, G. M., & Evans, M. I. (1997). Habitats for Birds in Europe: A Conservation Strategy for the Wider Environment. Birdlife International, Cambridge.
- van der Hoek, Y., Gaona, G. V., & Martin, K. (2017). The diversity, distribution and conservation status of the tree-cavity-nesting birds of the world. *Diversity and Distributions*, 23(10): 1120–1131.
- Villard, M.-A. (1998). On forest-interior species, edge avoidance, area sensitivity, and dogmas in avian conservation. *The Auk*, 115(3): 801–805.
- Villard, M.-A., & Foppen, R. (2018). Ecological adaptation of Birds to Forest Environments. In G. Mikusiński, J.-M. Roberge, & R. J. Fuller (Eds.): *Ecology and Conservation of Forest Birds* (pp. 51–78). Cambridge University Press, Cornwall.
- Virkkala, R. (1991). Spatial and temporal variation in bird communities and populations in north-boreal coniferous forests: A multiscale approach. *Oikos*, 62(1): 59–66.
- von Haartman, L. (1971). Population dynamics. In D. S. Farner & J. R. King (Eds.): *Avian Biology 1* (pp. 391–459). Academic Press, London.
- Walankiewicz, W. (2002). Nest predation as a limiting factor to the breeding population size of the Collared Flycatcher *Ficedula albicollis* in the Białowieża National Park (NE Poland). *Acta Ornithologica*, 37(2): 91–106.
- Waliczky, Z. (1991). Bird community changes in different-aged oak forest stands in the Buda-hills (Hungary). *Ornis Hungarica*, 1: 1–9.
- Wesołowski, T. (2005). Virtual conservation: How the European Union is turning a blind eye to its vanishing primeval forests. *Conservation Biology*, 19(5): 1349–1358.
- Wesołowski, T. (1983). The breeding ecology and behaviour of Wrens *Troglodytes troglodytes* under primeval and secondary conditions. *Ibis*, 125(4): 499–515.
- Wesołowski, T. (1989). Nest-sites of hole-nesters in a primeval temperate forest (Białowieża National Park, Poland). *Acta Ornithologica*, 25: 321–351.
- Wesołowski, T. (2007). Primeval conditions - What can we learn from them? *Ibis*, 149(Suppl. 2): 64–77.
- Wesołowski, T. (2011). “Lifespan” of woodpecker-made holes in a primeval temperate forest: A thirty year study. *Forest Ecology and Management*, 262(9): 1846–1852.
- Wesołowski, T. (2012). “Lifespan” of non-excavated holes in a primeval temperate forest: A 30 year study. *Biological Conservation*, 153: 118–126.
- Wesołowski, T., Fuller, R. J., & Flade, M. (2018). Temperate Forests - A European Perspective on Variation and Dynamics in Bird Assemblages. In G. Mikusiński, J.-M.

- Roberge, & R. J. Fuller (Eds.): Ecology and Conservation of Forest Birds (pp. 253–317). Cambridge University Press, Cornwall.
- Wesołowski, T., & Martin, K. (2018). Tree Holes and Hole-nesting Birds in European and North American Forests. In G. Mikusiński, J.-M. Roberge, & R. J. Fuller (Eds.), Ecology and Conservation of Forest Birds (pp. 79–134). Cambridge University Press, Cornwall.
- Wesołowski, T., Mitrus, C., Czeszczewik, D., & Rowiński, P. (2010). Breeding bird dynamics in a primeval temperate forest over thirty-five years: Variation and stability in the changing world. *Acta Ornithologica*, 45(2): 209–232.
- Wesołowski, T., Rowiński, P., Mitrus, C., & Czeszczewik, D. (2006). Breeding bird community of a primeval temperate forest (Białowieża National Park, Poland) at the beginning of the 21st century. *Acta Ornithologica*, 134: 99–112.
- Wilson, M. W., Gittings, T., Kelly, T. C., & O'Halloran, J. (2010). The importance of non-crop vegetation for bird diversity in Sitka spruce plantations in Ireland. *Bird Study*, 57(1): 116–120.
- Wilson, W. M., Pithon, J., Gittings, T., Kelly, T. C., Giller S., P., & O'Halloran, J. (2006). Effects of growth stage and tree species composition on breeding bird assemblages of plantation forests: Capsule Bird species assemblages are strongly dependent on growth stage and forest structure, but do not appear to be greatly affected by tree species. *Bird Study*, 53(3): 225–236.
- Winkler, D. (2005). Ecological succession of breeding bird communities in deciduous and coniferous forests in the Sopron Mountains, Hungary. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*, 1: 49–58.
- Zahner, V., Sikora, L., & Pasinelli, G. (2012). Heart rot as a key factor for cavity tree selection in the black woodpecker. *Forest Ecology and Management*, 271: 98–103.

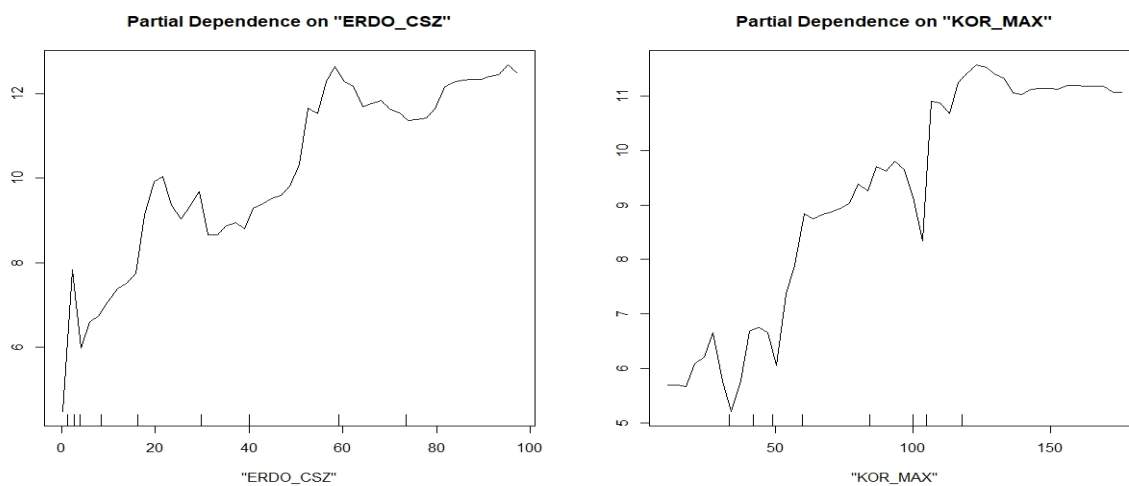
Mellékletek

M/1.-M/20. ábrához. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése táji léptékben az Országos Erdőállomány Adattár adatai alapján: random forest modellek predikciós ábrái. Az itt bemutatott ábrák a randomForest program automatikus kimenetei (partial dependence plots), a modellbe került háttérváltozók és a vizsgált madárközösség-változó modell által jósolt kapcsolatát mutatják meg a többi, modellben szereplő háttérváltozó átlagos értékei esetén.

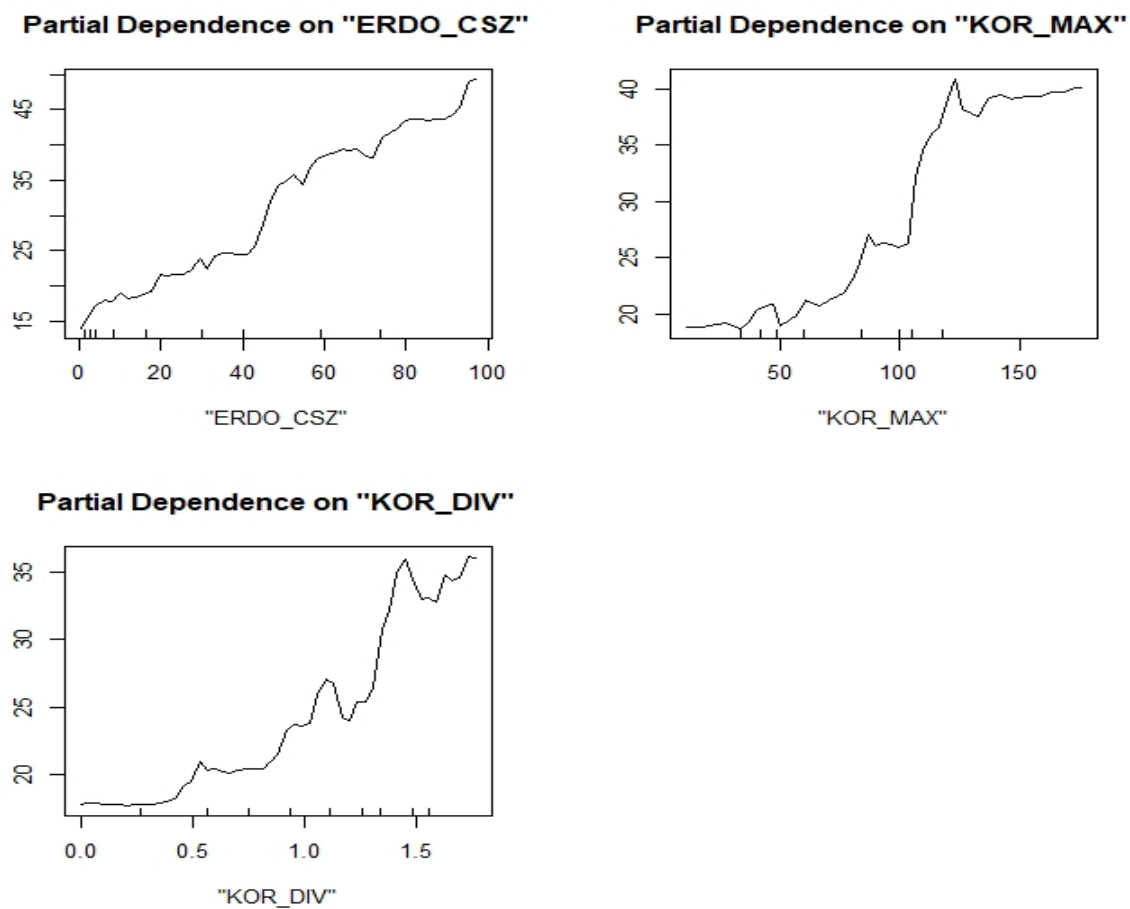
M/1. ábra. Erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erdőrészlet kora, KOR_DIV=Erdőrészletek korkategória diverzitása. Az ábrák y tengelyein az erdei madarak egyedszáma látható.



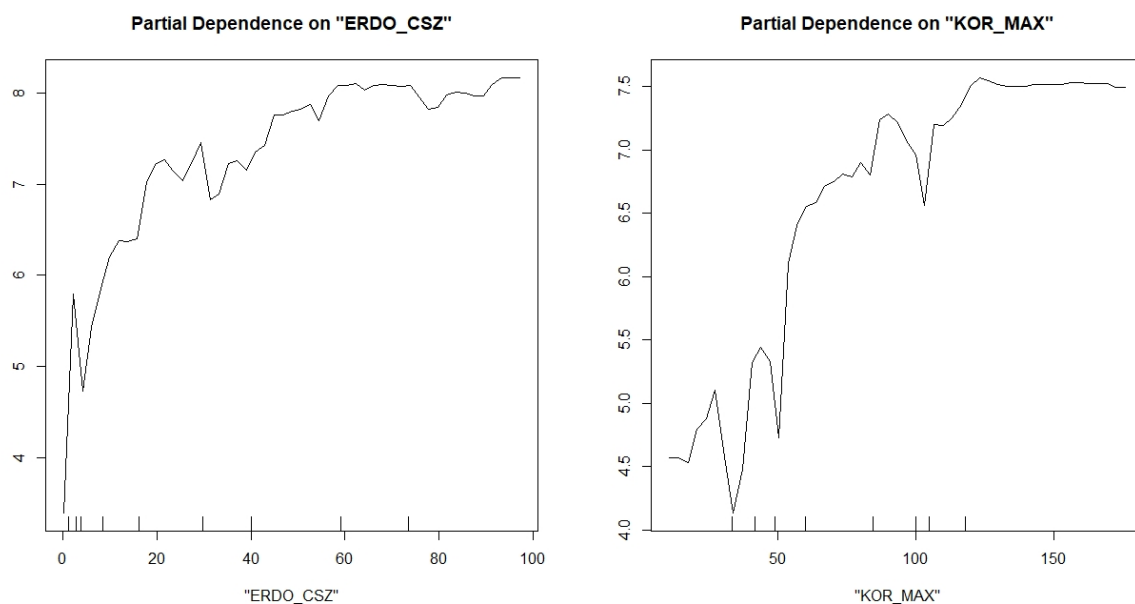
M/2. ábra. Erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erdőrészlet kora. Az ábrák y tengelyein az erdei madarak fajszáma látható.



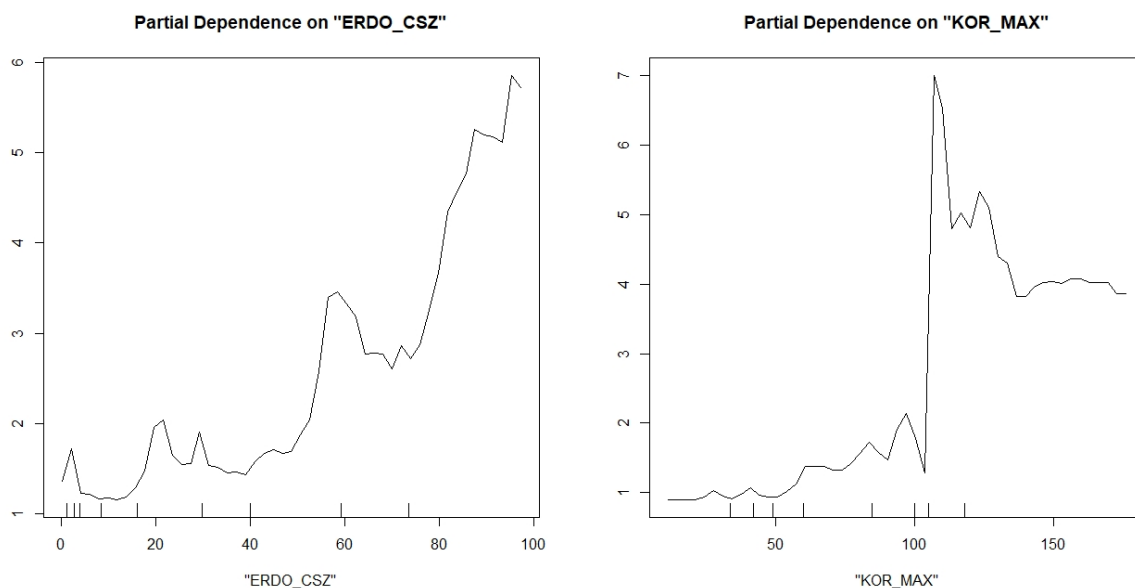
M/3. ábra. Gyakori erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX= Legidősebb erdőrészlet kora, KOR_DIV=Erdőrészletek korkategória diverzitása. Az ábrák y tengelyein a gyakori erdei madarak egyedszáma látható.



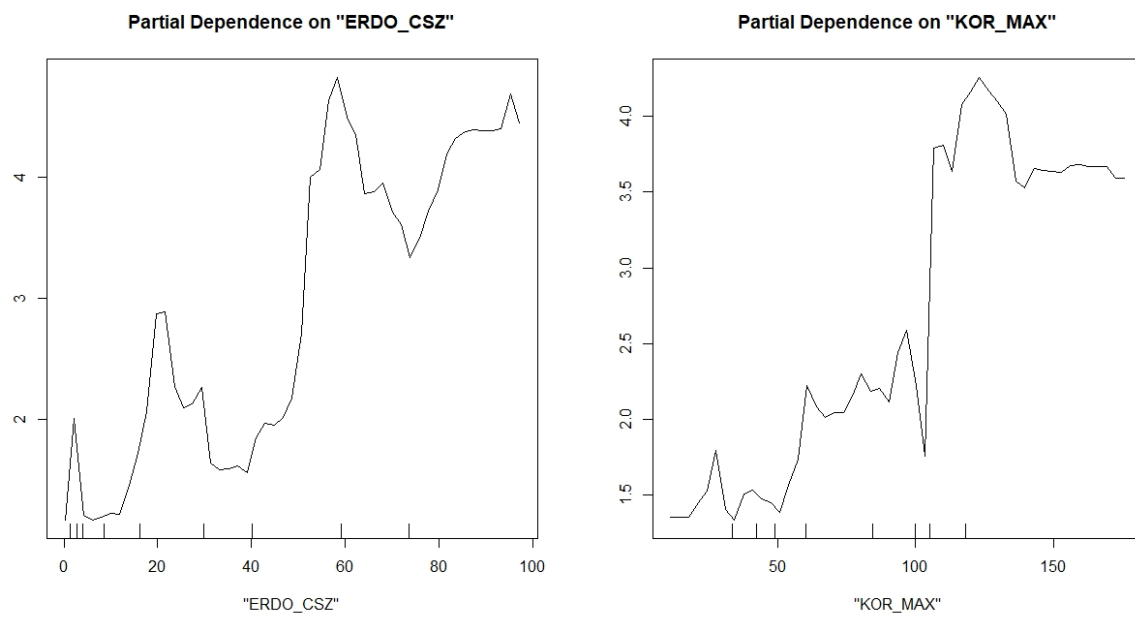
M/4. ábra. Gyakori erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX= Legidősebb erdőrészlet kora. Az ábrák y tengelyein a gyakori erdei madarak fajszáma látható.



M/5. ábra. Ritka erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erdőrészlet kora. Az ábrák y tengelyein a ritka erdei madarak egyedszáma látható.

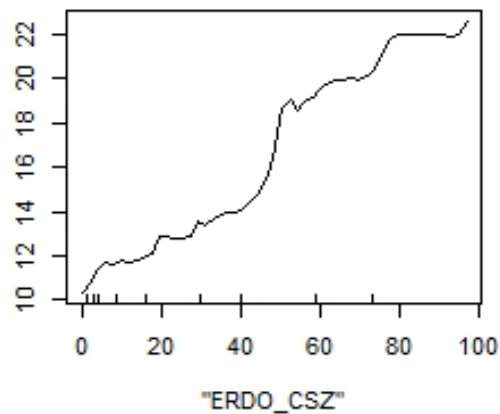


M/6. ábra. Ritka erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erőrszlet kora. Az ábrák y tengelyein a ritka erdei madarak fajszáma látható.

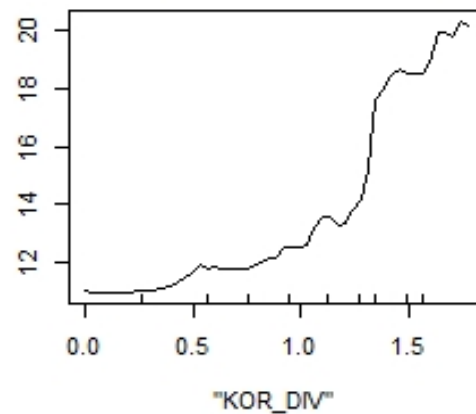


M/7. ábra. Állandó erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_DIV=Erdőrészletek korkategória-diverzitása, KOR_MAX=Legidősebb erőrészlet kora, TSZFM=Tengerszint feletti magasság, URBAN_CSZ=Urbán területek aránya. Az ábrák y tengelyein az állandó erdei madarak egyedszáma látható.

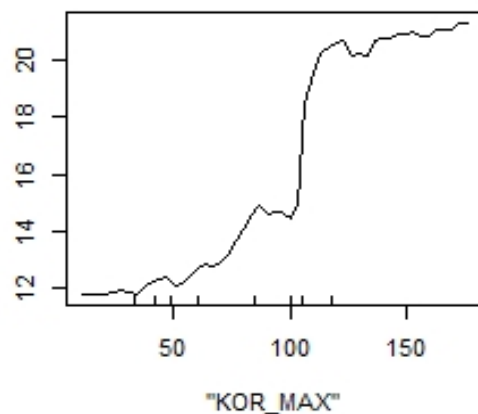
Partial Dependence on "ERDO_CSZ"



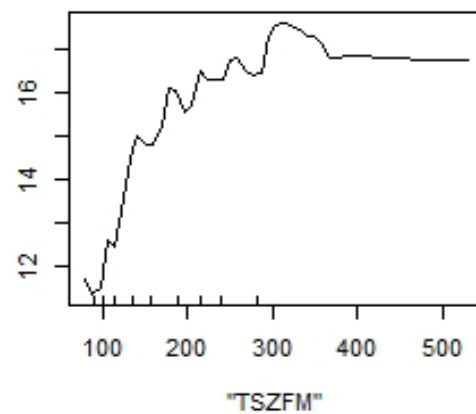
Partial Dependence on "KOR_DIV"



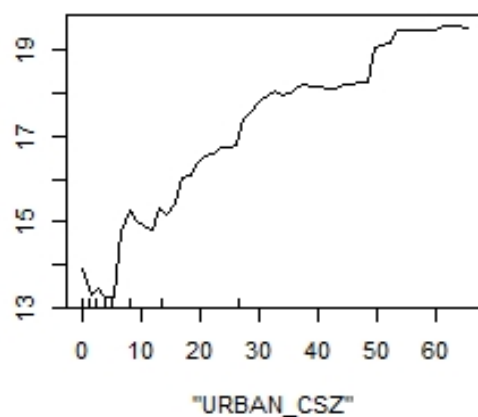
Partial Dependence on "KOR_MAX"



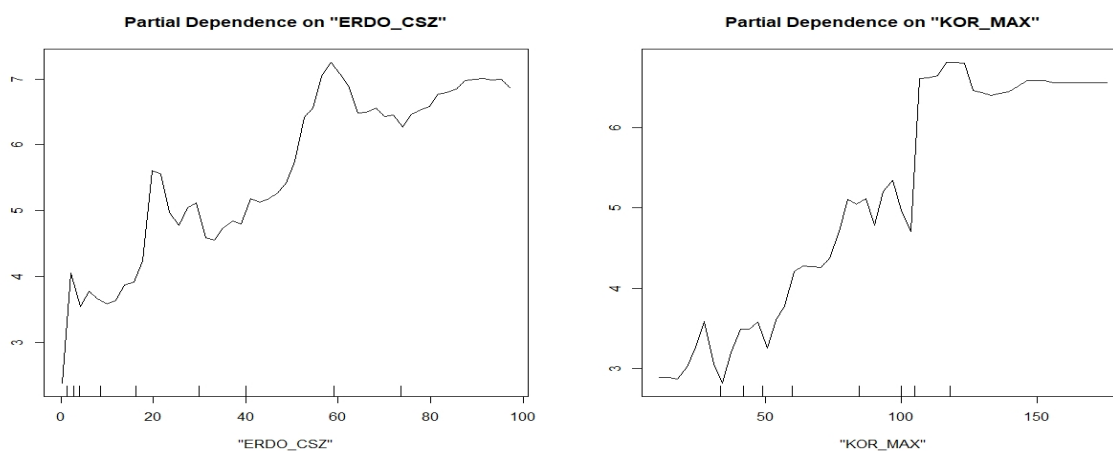
Partial Dependence on "TSZFM"



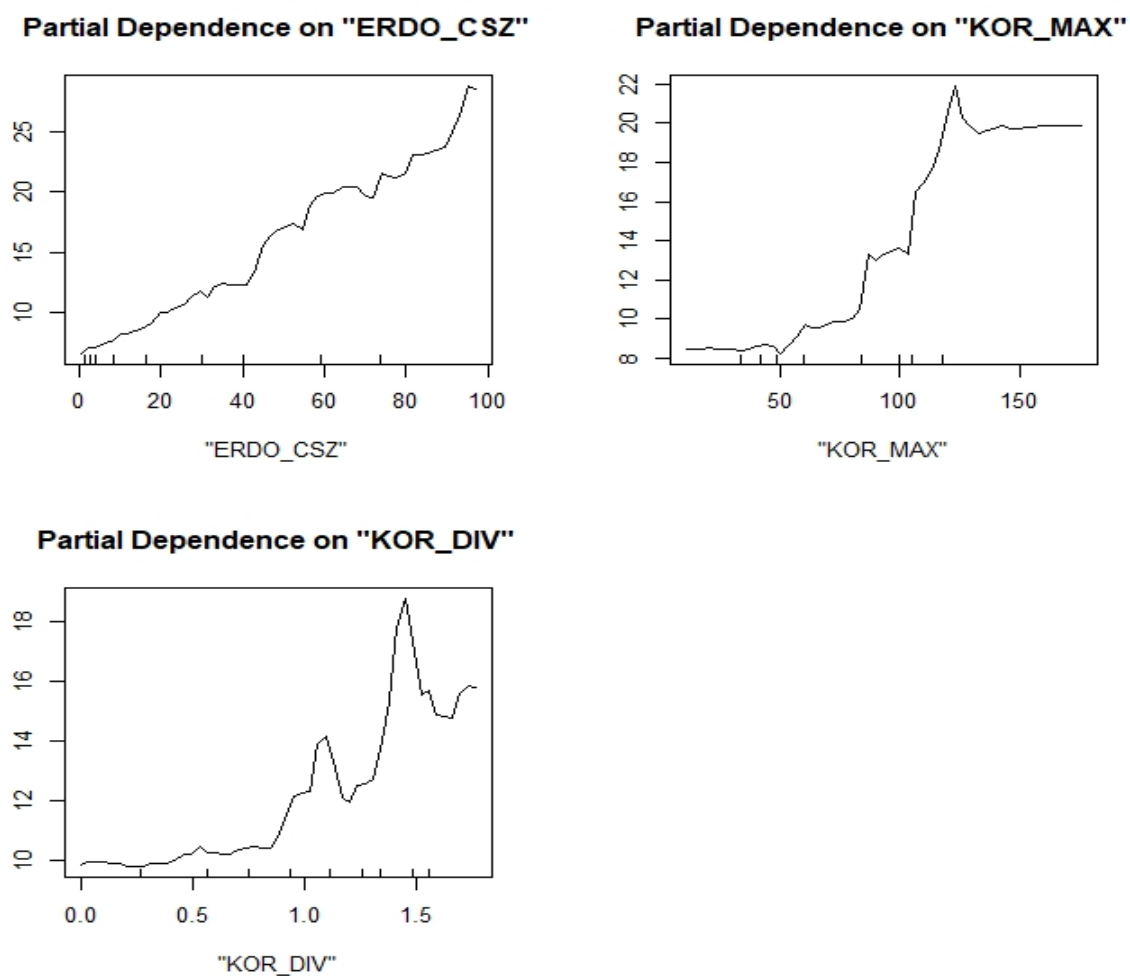
Partial Dependence on "URBAN_CSZ"



M/8. ábra. Állandó erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erdőrészlet kora. Az ábrák y tengelyein az állandó erdei madarak fajszáma látható.

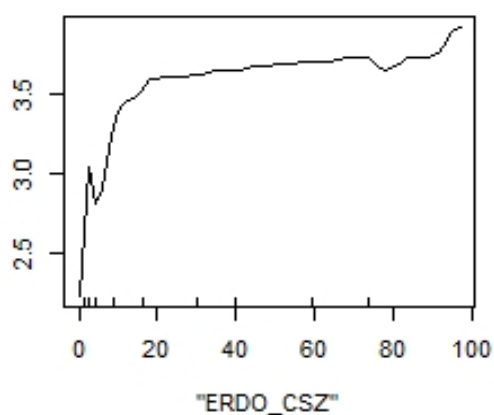


M/9. ábra. Rövidtávú vonuló erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX= Legidősebb erdőrészlet kora, KOR_DIV= Erdőréseletek korkategória-diverzitása. Az ábrák y tengelyein a rövidtávú vonuló erdei madarak egyedszáma látható.

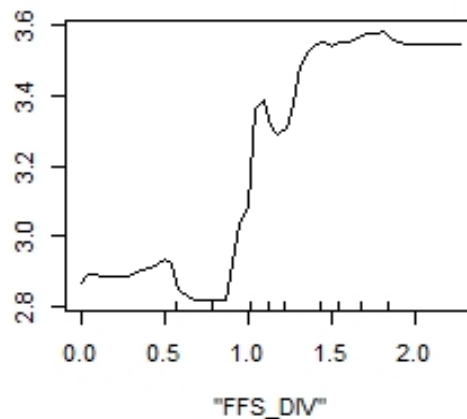


M/10. ábra. Rövidtávú vonuló erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, FFS_DIV=Faállománytípus diverzitás, ELLENBERG= Ellenberg ariditási index, KOR_MAX= Legidősebb erdőrészlet kora, URBAN_CSZ= Urbán területek aránya, KOR_DIV= Erdőrészletek korkategória-diverzitása. Az ábrák y tengelyein a rövidtávú vonuló erdei madarak fajszáma látható.

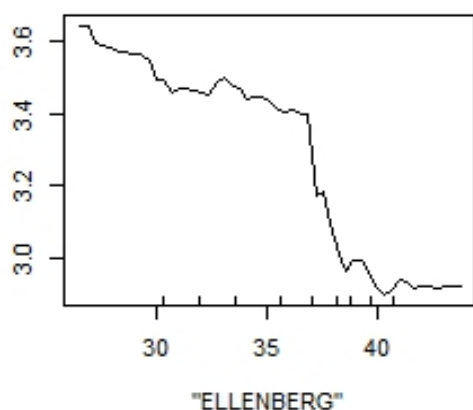
Partial Dependence on "ERDO_CSZ"



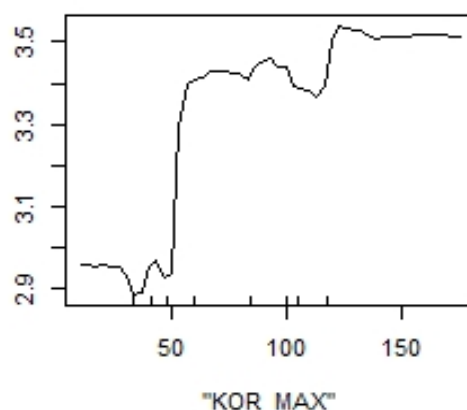
Partial Dependence on "FFS_DIV"



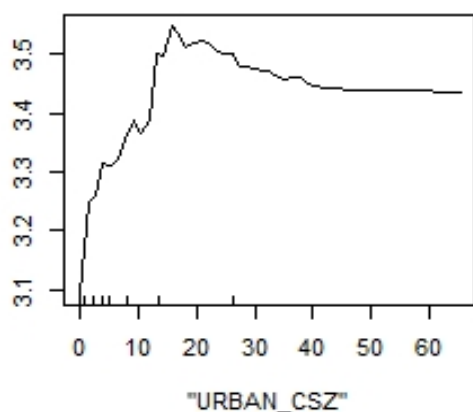
Partial Dependence on "ELLENBERG"



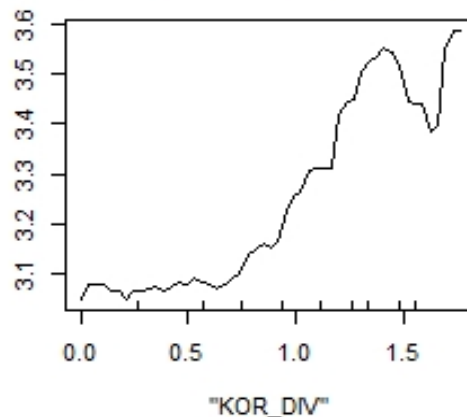
Partial Dependence on "KOR_MAX"



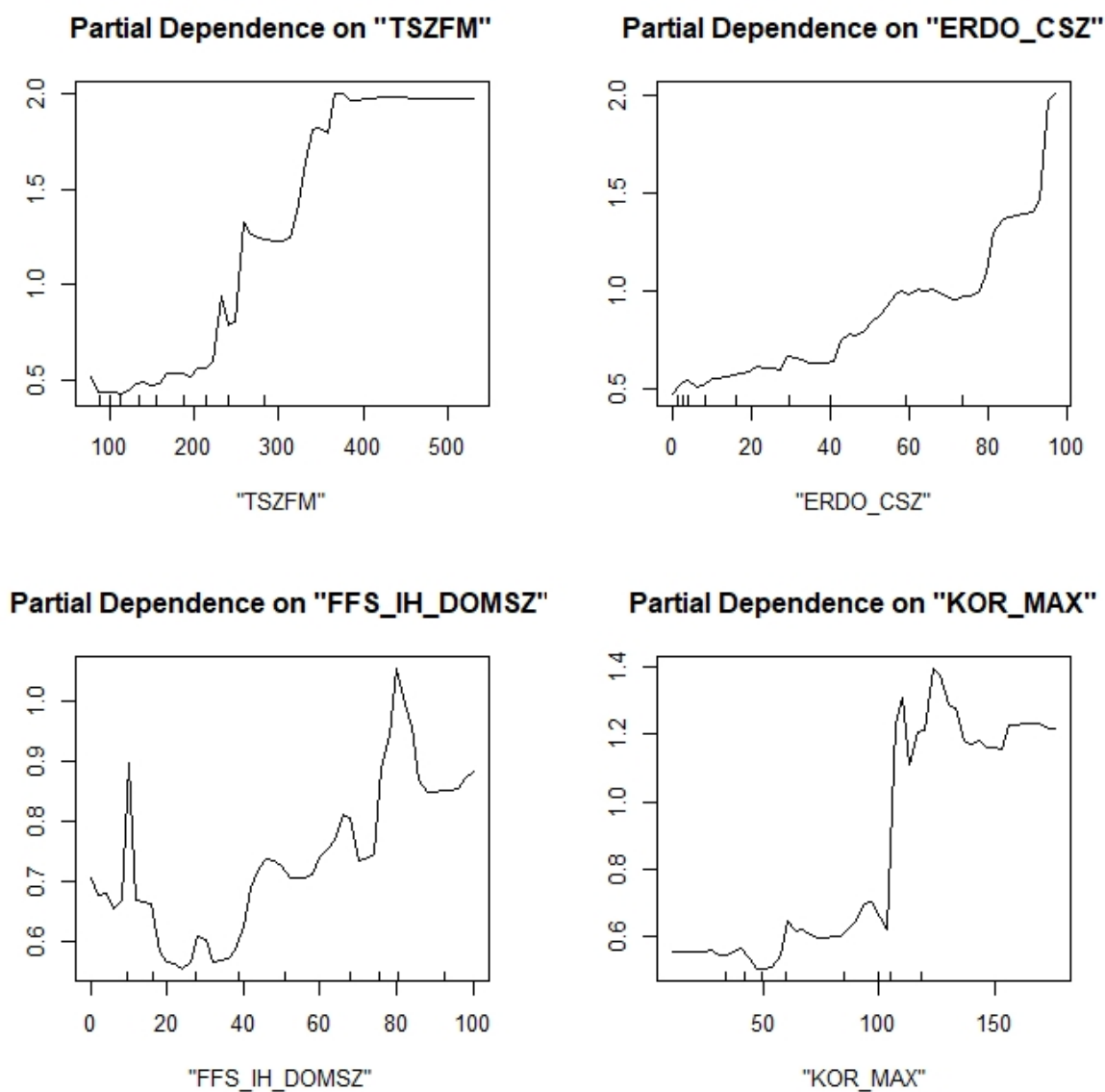
Partial Dependence on "URBAN_CSZ"



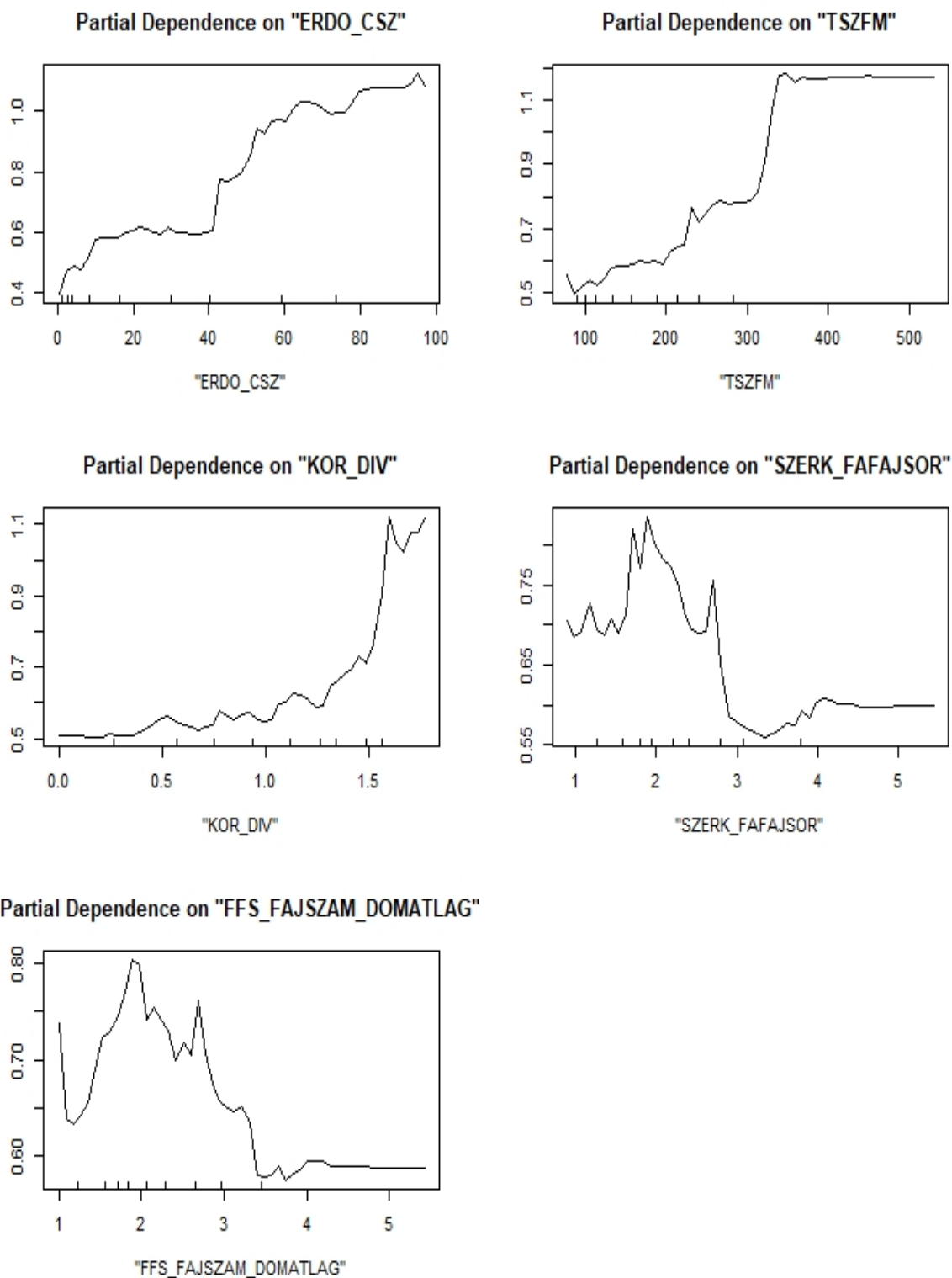
Partial Dependence on "KOR_DIV"



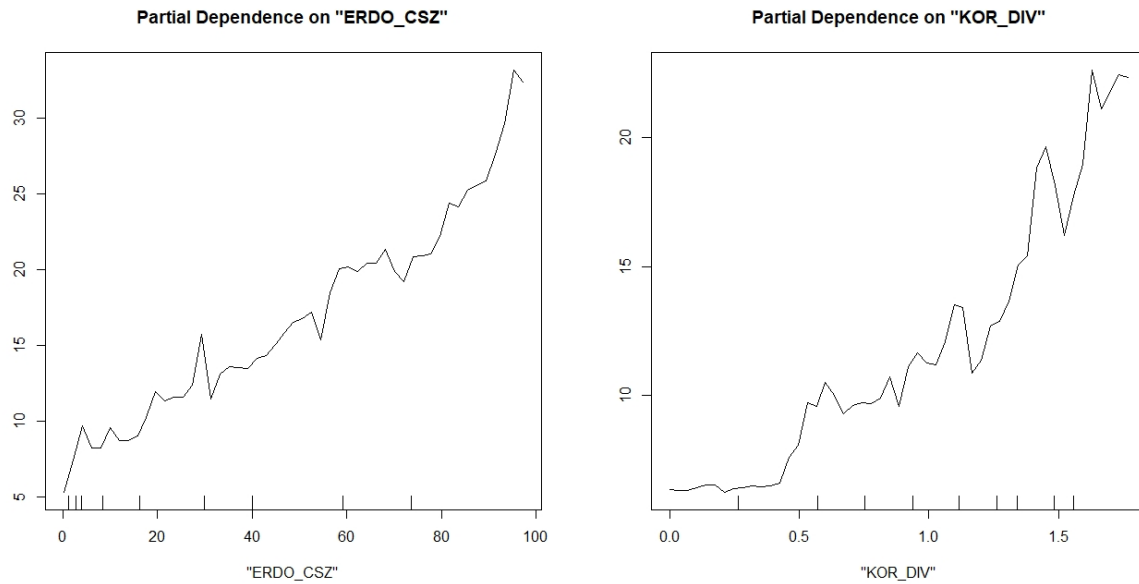
M/11. ábra. Hosszútávú vonuló erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. TSZFM=Tengerszint feletti magasság, ERDO_CSZ=Erdősültség, FFS_IH_DOMSZ=Idegenhonos fafajok átlagos aránya, KOR_MAX= Legidősebb erdőrészlet kora. Az ábrák y tengelyein a hosszútávú vonuló erdei madarak egyedszáma látható.



M/12. ábra. Hosszútávú vonuló erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, TSZFM= Tengerszint feletti magasság, KOR_DIV= Erdőrészletek korkategória-diverzitása, SZERK_FAJAJSOR=Erdőrészletek fajajsorainak átlagos száma, FFS_FAJSZAM_DOMATLAG=Erdőrészletek átlagos fajajszáma. Az ábrák y tengelyein a hosszútávú vonuló erdei madarak fajszáma látható.

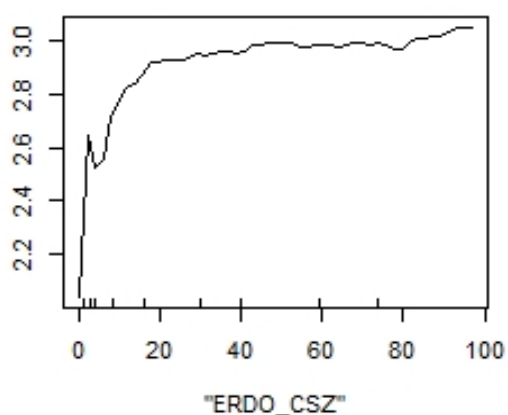


M/13. ábra. Lombkoronában költő erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_DIV= Erdőrészletek korkategória-diverzitása. Az ábrák y tengelyein a lombkoronában költő erdei madarak egyedszáma látható.

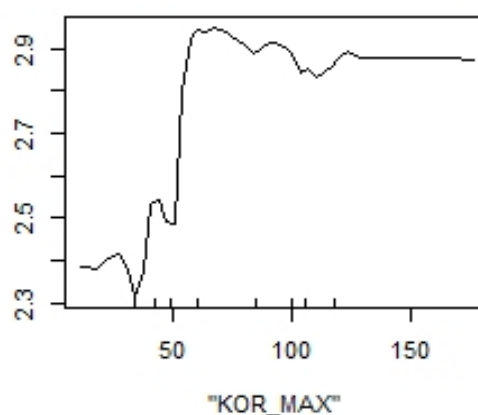


M/14. ábra. Lombkoronában költő erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX= Legidősebb erdőrészlet kora, URBAN_CSZ= Urbán területek aránya, FFS_DIV= Faállománytípus-diverzitás, ELLENBERG= Ellenberg ariditási index. Az ábrák y tengelyein a lombkoronában költő erdei madarak fajszáma látható.

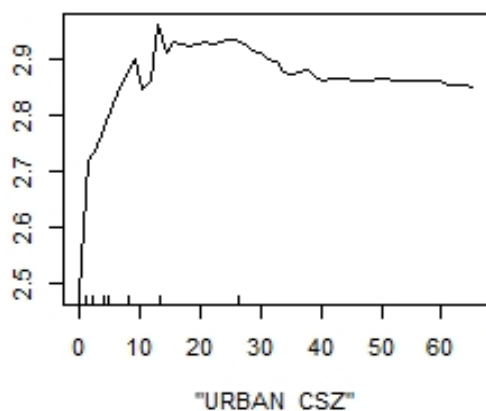
Partial Dependence on "ERDO_CSZ"



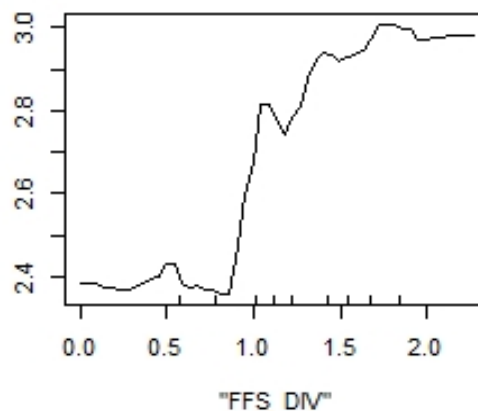
Partial Dependence on "KOR_MAX"



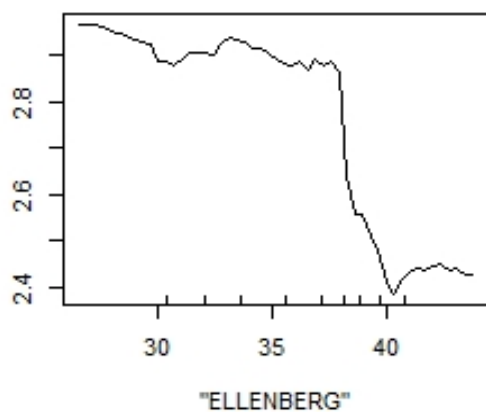
Partial Dependence on "URBAN_CSZ"



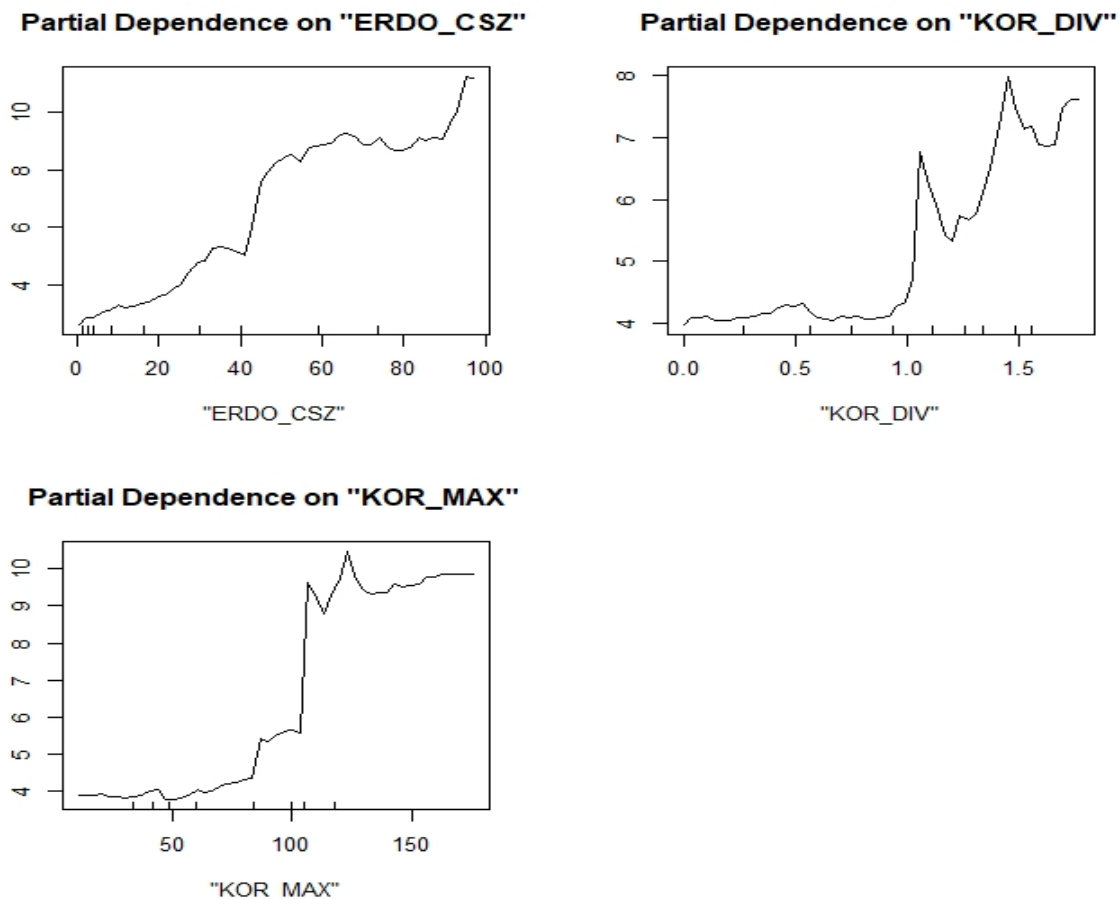
Partial Dependence on "FFS_DIV"



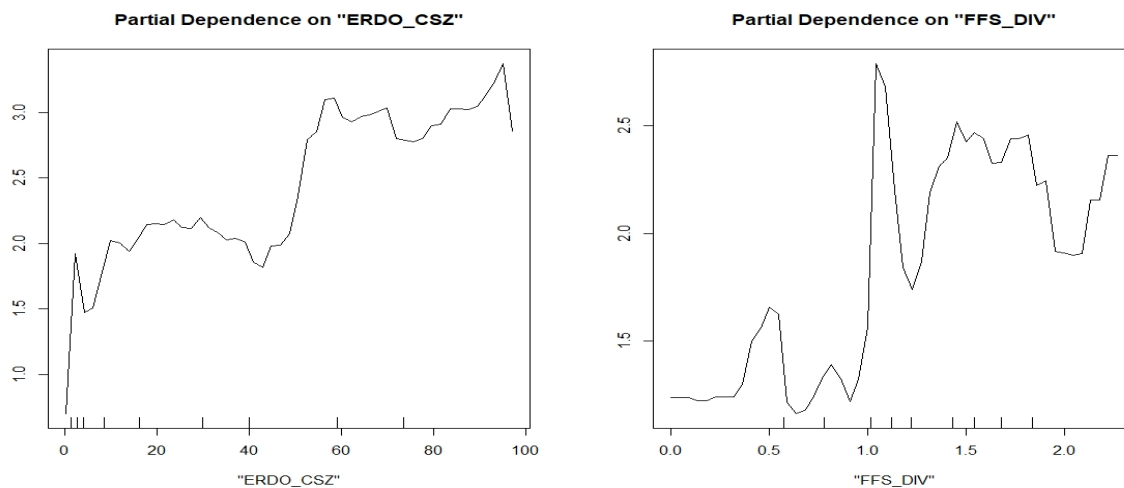
Partial Dependence on "ELLENBERG"



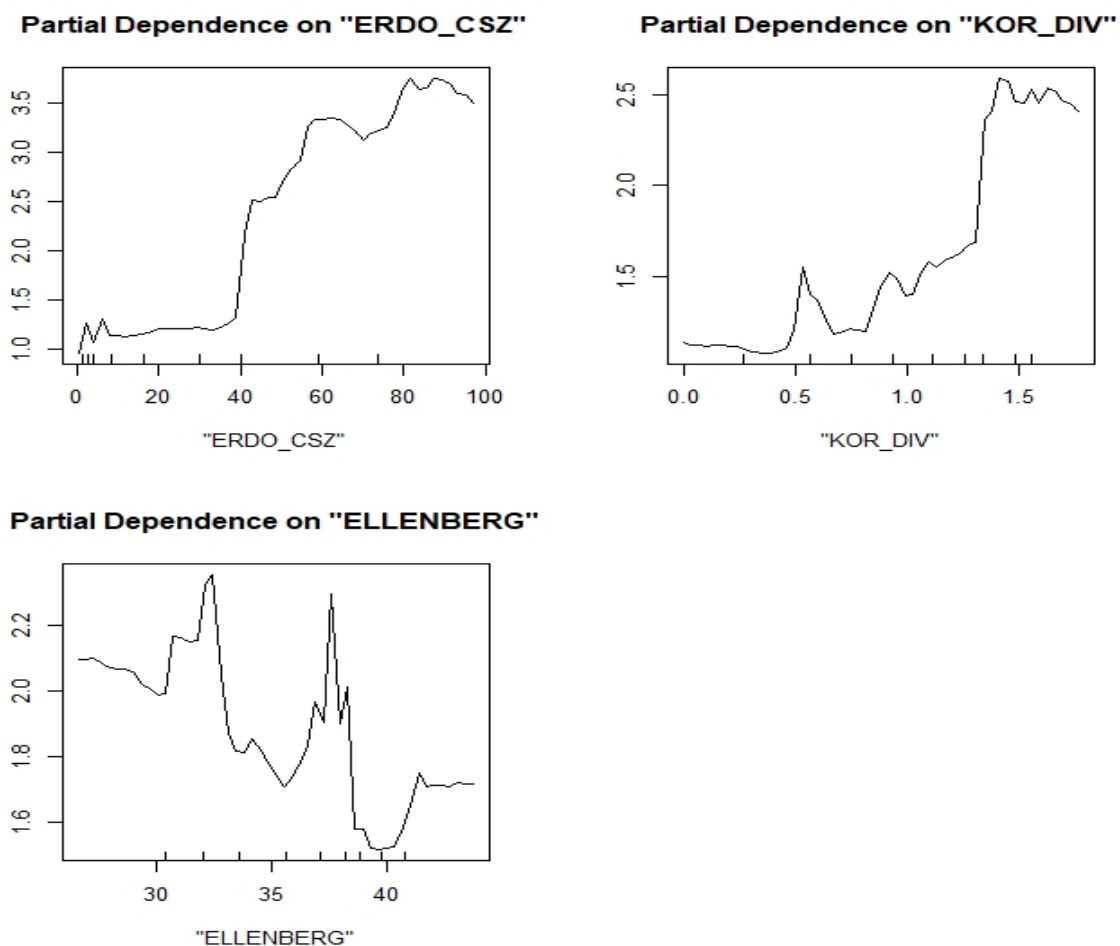
M/15. ábra. Talajon költő erdei madarak egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_DIV= Erdőrézletek korkategória-diverzitása, KOR_MAX= Legidősebb erdőrézlet kora. Az ábrák y tengelyein a talajon költő erdei madarak egyedszáma látható.



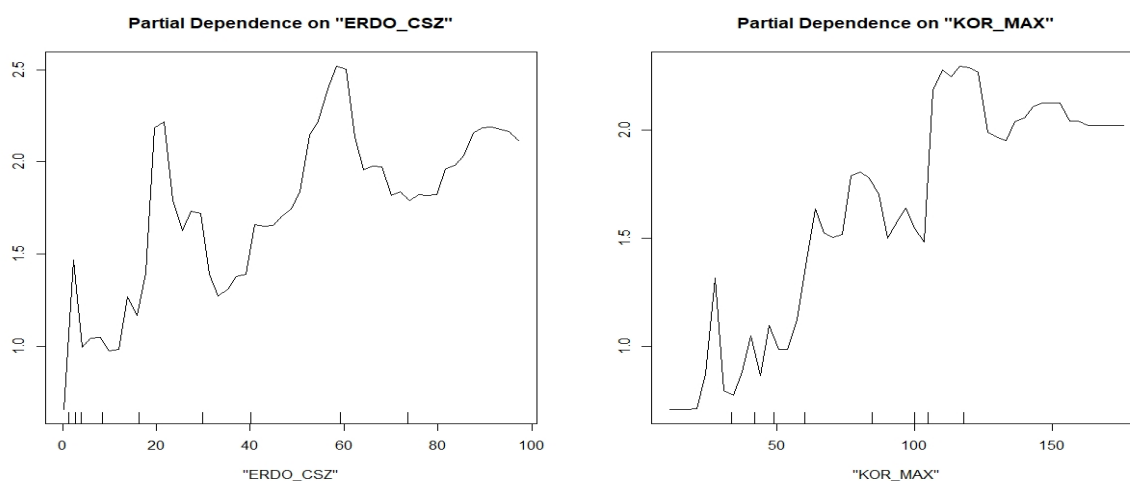
M/16. ábra. Talajon költő erdei madarak fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, FFS_DIV=Faállománytípus-diverzitás. Az ábrák y tengelyein a talajon költő erdei madarak fajszáma látható.



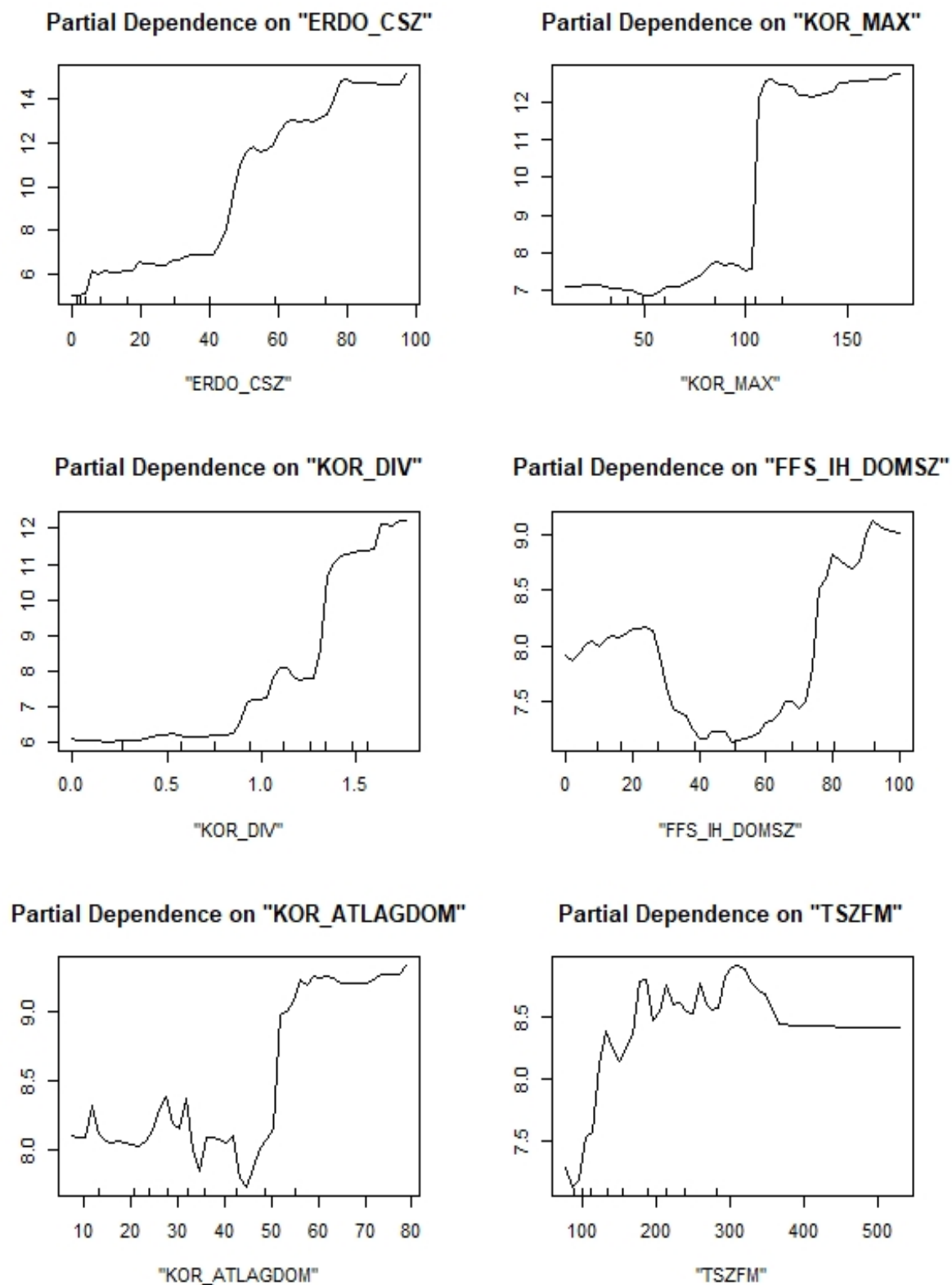
M/17. ábra. Elsődleges odúlakók egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_DIV=Erdőrészletek korkategória diverzitása, ELLENBERG=Ellenberg ariditási index. Az ábrák y tengelyein az elsődleges odúlakók egyedszáma látható.



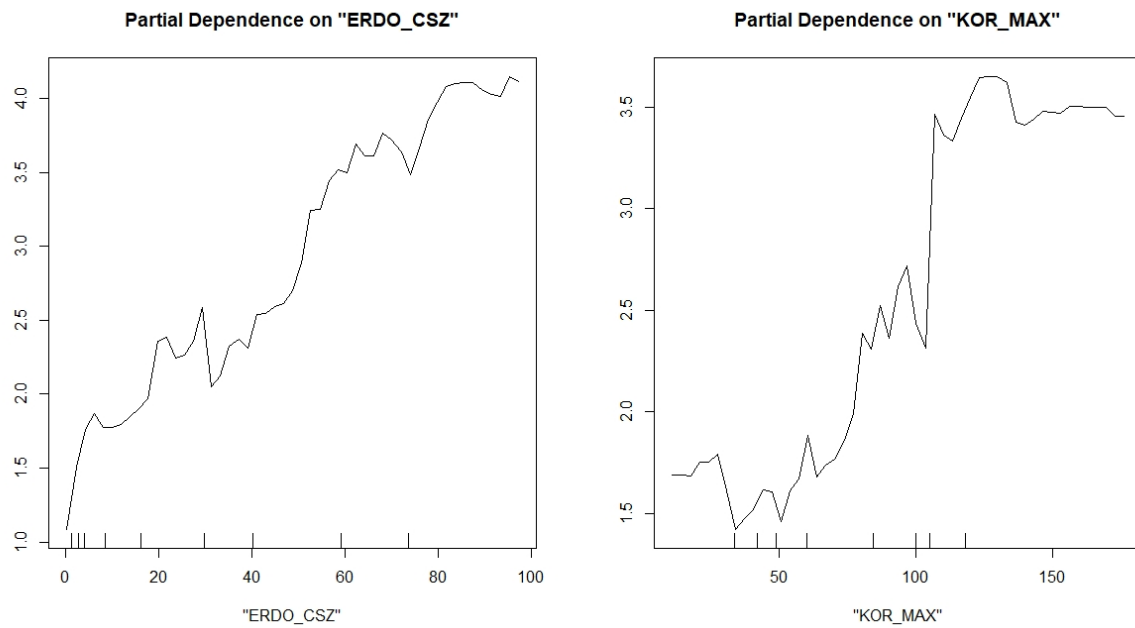
M/18. ábra. Elsődleges odúlakók fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erdőrézlet kora. Az ábrák y tengelyein az elsődleges odúlakók fajszáma látható.



M/19. ábra. Másodlagos odúlakók egyedszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erdőrészlet kora, KOR_DIV=Erdőrészletek korkategória diverzitása, FFS_IH_DOMSZ=Idegenhonos fajok átlagos aránya, KOR_ATLAGDOM= Erdőrészletek átlagos kora, TSZFM= Tengerszint feletti magasság. Az ábrák y tengelyein a másodlagos odúlakók egyedszáma látható.



M/20. ábra. Másodlagos odúlakók fajszámának parciális függőségi ábrája. ERDO_CSZ=Erdősültség, KOR_MAX=Legidősebb erdőrézlet kora. Az ábrák y tengelyein a másodlagos odúlakók fajszáma látható.



M/1. táblázat. Erdei madárközösség gazdagságának modellezése erdőrészlet léptékben részletes állományadatok alapján az Őrségben: Környezeti változók korrelációs mátrixa.. Szignifikáns korrelációk ($p > 0,1$) félkövérrel szedve. Szabadsági fokok száma 34.

	Fafajszám	Fafaj diverzitás	Bükk elegyarány	Gyertyán elegyarány	Erdeifenyő elegyarány	Lucfenyő elegyarány	Tölgy elegyarány	Egyéb fafajok elegyaránya	Fák átlagos DBH-ja
Fafaj diverzitás	0,527								
Bükk elegyarány	-0,289	-0,181							
Gyertyán elegyarány	0,147	0,477	-0,084						
Erdeifenyő elegyarány	0,389	0,135	-0,352	-0,195					
Lucfenyő elegyarány	0,211	0,336	-0,006	0,405	-0,059				
Tölgy elegyarány	-0,226	-0,186	-0,556	-0,066	-0,478	-0,313			
Egyéb fafajok elegyaránya	0,585	0,520	-0,143	0,171	0,079	0,285	-0,161		
Fák átlagos DBH-ja	-0,532	-0,072	0,402	-0,023	-0,523	0,015	0,116	-0,307	
Fák DBH-jának szórása	0,448	0,044	-0,468	0,155	0,248	0,095	0,117	0,321	-0,809
Fák egyedsűrűsége	0,476	0,021	-0,332	-0,038	0,622	-0,058	-0,234	0,256	-0,873
Holtfa térfogat	0,285	0,129	-0,277	0,215	-0,016	0,194	0,107	0,546	-0,202
Cserjeszint sűrűsége	0,253	0,141	-0,296	0,055	0,152	0,065	0,092	0,126	-0,207
Gyepszint borítás	0,139	0,120	-0,269	0,238	-0,253	0,328	0,279	0,308	0,222
Talaj borítás	-0,376	-0,256	-0,136	-0,025	-0,285	0,016	0,375	-0,126	0,353
Avar borítás	-0,151	-0,032	0,255	0,056	-0,223	-0,249	0,043	-0,270	0,151
Bükkösök aránya	-0,263	-0,384	0,702	-0,194	-0,316	0,004	-0,306	-0,158	0,331
Erdeifenyvesek aránya	0,422	0,080	-0,194	-0,096	0,553	-0,100	-0,252	0,120	-0,468
Fiatalosok aránya	0,570	0,496	-0,103	0,181	-0,052	0,117	-0,011	0,695	-0,182
Lucfenyvesek aránya	0,007	0,193	-0,173	-0,084	-0,057	-0,016	0,235	-0,117	-0,082
Tölgyesek aránya	-0,193	-0,232	-0,198	-0,071	-0,373	-0,124	0,519	0,049	0,162
Nyílt területek aránya	-0,134	-0,217	-0,099	0,098	-0,192	-0,063	0,221	0,222	-0,287
Felszínborítási típusok diverzitása	0,218	0,291	-0,108	0,019	-0,043	-0,046	0,092	0,396	-0,394
Erdők aránya 1853-ban	-0,269	0,018	0,246	0,058	-0,199	0,120	-0,090	-0,041	0,263
Rétek aránya 1853-ban	0,241	0,047	0,047	-0,080	0,091	0,008	-0,133	0,200	-0,175
Agrár területek aránya 1853-ban	0,185	-0,048	-0,324	-0,023	0,188	-0,149	0,186	-0,066	-0,216 ¹

¹ A táblázat a következő oldalon folytatódik.

	Fák DBH-jának szórása	Fák egyedsűrűsége	Holtfa térfogat	Cserjeszint sűrűsége	Gyepszint borítás	Talaj borítás	Avar borítás	Bükkösök aránya
Fafaj diverzitás								
Bükk elegyarány								
Gyertyán elegyarány								
Erdeifenyő elegyarány								
Lucfenyő elegyarány								
Tölgy elegyarány								
Egyéb fafajok elegyaránya								
Fák átlagos DBH-ja								
Fák DBH-jának szórása								
Fák egyedsűrűsége	0,641							
Holtfa térfogat	0,397	0,241						
Cserjeszint sűrűsége	0,470	-0,010	0,145					
Gyepszint borítás	0,004	-0,355	0,232	0,458				
Talaj borítás	-0,113	-0,274	0,144	-0,050	0,386			
Avar borítás	-0,033	-0,173	-0,206	-0,067	-0,483	-0,349		
Bükkösök aránya	-0,356	-0,210	-0,132	-0,263	-0,076	0,044	0,107	
Erdeifenyvesek aránya	0,411	0,451	0,086	0,215	-0,133	-0,061	-0,233	-0,209
Fiatalosok aránya	0,251	0,123	0,211	0,147	0,248	-0,307	-0,022	-0,107
Lucfenyvesek aránya	-0,019	0,143	-0,119	-0,147	-0,197	0,011	0,133	-0,084
Tölgyesek aránya	-0,051	-0,183	0,472	0,024	0,320	0,408	-0,177	-0,155
Nyílt területek aránya	0,466	0,234	0,403	-0,003	-0,032	0,154	0,096	-0,027
Felszínborítási típusok diverzitása	0,310	0,224	0,033	-0,052	-0,098	-0,223	0,168	-0,136
Erdők aránya 1853-ban	-0,406	-0,130	-0,226	-0,461	-0,030	0,048	-0,005	0,113
Rétek aránya 1853-ban	0,228	0,070	0,199	0,175	0,047	0,011	-0,053	-0,050
Agrár területek aránya 1853-ban	0,358	0,116	0,158	0,455	0,009	-0,064	0,037	-0,108 ¹

¹ A táblázat a következő oldalon folytatódik.

	Erdeifenyvesek aránya	Fiatalosok aránya	Lucfenyvesek aránya	Tölgyesek aránya	Nyílt területek aránya	Felszínborítási típusok diverzitása	Erdők aránya 1853-ban	Rétek aránya 1853-ban
Fafaj diverzitás								
Bükk elegyarány								
Gyertyán elegyarány								
Erdeifenyő elegyarány								
Lucfenyő elegyarány								
Tölgy elegyarány								
Egyéb fafajok elegyaránya								
Fák átlagos DBH-ja								
Fák DBH-jának szórása								
Fák egyedsűrűsége								
Holtfa térfogat								
Cserjeszint sűrűsége								
Gyepszint borítás								
Talaj borítás								
Avar borítás								
Bükkösök aránya								
Erdeifenyvesek aránya								
Fiatalosok aránya	-0,015							
Lucfenyvesek aránya	-0,090	-0,015						
Tölgyesek aránya	-0,236	-0,134	-0,101					
Nyílt területek aránya	-0,120	-0,064	-0,044	0,183				
Felszínborítási típusok diverzitása	-0,060	0,301	0,434	0,079	0,383			
Erdők aránya 1853-ban	-0,492	0,084	-0,029	-0,081	-0,085	-0,093		
Rétek aránya 1853-ban	0,335	-0,084	-0,132	0,195	0,174	0,242	-0,566	
Agrár területek aránya 1853-ban	0,400	-0,053	0,111	-0,015	0,001	-0,028	-0,879	0,104

M/2. táblázat. Erdői madárközösség gazdagságának modellezése erdőrészlet léptékben részletes állományadatok alapján az Őrségben: Madár változók és a környezeti változók közötti korrelációs koefficiensek. Szignifikáns korrelációk ($p > 0.1$) félkövérrel szedve. Szabadsági fokok száma 34.

	Erdői madarak fsz.	Odúlakó madarak fsz.	Nem odúl. madarak fsz.	Ritka madarak fsz.	Gyakori madarak fsz.	Erdői madarak esz.	Odúlakó madarak esz.	Nem odúl. madarak esz.	Ritka madarak esz.	Gyakori madarak es.
Fafaj-összetétel										
Fafajszám	-0,133	-0,113	-0,108	0,079	-0,222	-0,186	-0,146	-0,166	0,030	-0,239
Fafaj diverzitás	0,169	0,079	0,203	0,220	0,073	0,105	0,011	0,165	0,224	0,001
Bükk elegyarány	0,082	0,234	-0,099	0,245	-0,055	-0,021	0,204	-0,238	0,217	-0,146
Gyertyán elegyarány	0,341	0,368	0,199	0,290	0,248	0,239	0,311	0,091	0,267	0,137
Erdeifenyő elegyarány	-0,342	-0,369	-0,198	-0,083	-0,384	-0,320	-0,335	-0,203	-0,134	-0,308
Lucfenyő elegyarány	0,292	0,124	0,363	0,443	0,085	0,194	0,173	0,152	0,521	-0,058
Tölgy elegyarány	0,067	0,002	0,111	-0,332	0,303	0,192	0,005	0,317	-0,281	0,387
Egyéb fafajok elegyaránya	0,080	0,025	0,109	0,165	-0,005	0,003	-0,060	0,065	0,158	-0,084
Faállomány-szerkezet										
Fák átlagos DBH-ja	0,442	0,507	0,225	0,223	0,421	0,543	0,596	0,317	0,274	0,496
Fák DBH-jának szórása	-0,223	-0,268	-0,102	-0,111	-0,213	-0,307	-0,359	-0,157	-0,163	-0,277
Fák egyedsűrűsége	-0,390	-0,434	-0,212	-0,167	-0,391	-0,493	-0,525	-0,304	-0,216	-0,470
Holtfa térfogat	0,255	0,279	0,144	0,241	0,169	0,313	0,290	0,235	0,239	0,241
Cserjeszint sűrűsége	0,199	0,107	0,224	0,136	0,166	0,214	0,090	0,269	0,081	0,211
Gyepszint borítás	0,459	0,329	0,435	0,249	0,426	0,551	0,393	0,531	0,281	0,503
Talaj borítás	0,374	0,241	0,381	0,122	0,399	0,470	0,321	0,468	0,210	0,446
Avar borítás	-0,145	-0,050	-0,192	-0,244	-0,027	-0,191	-0,074	-0,246	-0,281	-0,072
Felszínborítási változók										
Bükkösök aránya	0,094	0,184	-0,029	0,195	-0,008	0,017	0,189	-0,158	0,207	-0,095
Erdeifenyvesek aránya	-0,159	-0,261	-0,002	-0,012	-0,196	-0,176	-0,288	-0,010	-0,052	-0,183
Fiatalosok aránya	-0,088	-0,012	-0,135	-0,046	-0,083	-0,181	-0,118	-0,186	-0,091	-0,166
Lucfenyvesek aránya	0,073	-0,180	0,305	0,012	0,086	-0,048	-0,210	0,128	0,060	-0,091
Tölgyesek aránya	0,171	0,124	0,160	-0,090	0,278	0,317	0,217	0,315	-0,036	0,400
Nyílt területek aránya	0,047	0,014	0,065	-0,118	0,138	-0,009	-0,054	0,039	-0,128	0,061
Felszínborítási típusok diverz.	-0,204	-0,384	0,047	-0,269	-0,086	-0,359	-0,445	-0,159	-0,255	-0,288
Tájtörténeti változók										
Erdők aránya 1853-ban	0,088	0,145	0,001	0,011	0,106	0,059	0,101	-0,002	0,036	0,050
Rétek aránya 1853-ban	-0,002	-0,059	0,056	0,164	-0,109	0,005	-0,038	0,046	0,157	-0,081
Agrár területek aránya 1853-ban	-0,105	-0,141	-0,034	-0,108	-0,065	-0,074	-0,100	-0,024	-0,135	-0,013

ADATLAP

a doktori értekezés nyilvánosságra hozatalához*

I. A doktori értekezés adatai

A szerző neve: Mag Zsuzsa

MTMT-azonosító: 10020556

A doktori értekezés címe: Az élőhely minőségének hatása az erdei madárközösségek gazdagságára Magyarországon: Három eltérő felbontású vizsgálat eredményeinek összehasonlító elemzése

DOI-azonosító: 10.15476/ELTE.2019.023

A doktori iskola neve: Biológia Doktori Iskola

Doktori program neve: Ökológia, Konzervációbiológia és Szisztematika Program

A témavezető neve és tudományos fokozata: Standovár Tibor PhD, egyetemi docens

A témavezető munkahelye: ELTE Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék

II. Nyilatkozatok

1. A doktori értekezés szerzőjeként

- a) hozzájárulok, hogy a doktori fokozat megszerzését követően a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban. Felhatalmazom a Természettudományi kar Dékáni Hivatali Doktori, Habilitációs és Nemzetközi Ügyek Csoportjának ügyintézőjét, hogy az értekezést és a téziseket feltöltse az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba, és ennek során kitöltse a feltöltéshez szükséges nyilatkozatokat.
- b) kérem, hogy a mellékelt kérelemben részletezett szabadalmi, illetőleg oltalmi bejelentés közzétételéig a doktori értekezést ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;
- c) kérem, hogy a nemzetbiztonsági okból minősített adatot tartalmazó doktori értekezést a minősítés (datum)-ig tartó időtartama alatt ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;
- d) kérem, hogy a mű kiadására vonatkozó mellékelt kiadó szerződésre tekintettel a doktori értekezést a könyv megjelenéséig ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban, és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban csak a könyv bibliográfiai adatait tegyék közzé. Ha a könyv a fozatszerezést követően egy évig nem jelenik meg, hozzájárulok, hogy a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban.

2. A doktori értekezés szerzőjeként kijelentem, hogy

- a) az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba feltöltendő doktori értekezés és a tézisek saját eredeti, önálló szellemi munkám és legjobb tudomásom szerint nem sértem vele senki szerzői jogait;
- b) a doktori értekezés és a tézisek nyomtatott változatai és az elektronikus adathordozón benyújtott tartalmak (szöveg és ábrák) mindenben megegyeznek.

3. A doktori értekezés szerzőjeként hozzájárulok a doktori értekezés és a tézisek szövegének plágiumkereső adatbázisba helyezéséhez és plágiumellenőrző vizsgálatok lefuttatásához.

Kelt: 2019 február 3.

.....Mag Zsuzsa.....
a doktori értekezés szerzőjének aláírása

*ELTE SZMSZ SZMR 12. sz. melléklet